

久留米工業高等専門学校
紀 要

第17卷 第2号

MEMOIRS
OF
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 17 No. 2
MARCH 2002

平成 14 年 3 月

久留米工業高等専門学校

久留米工業高等専門学校

紀 要

第17巻 第2号

(平成14年3月)

目 次

インダストリアル・デザインの起源と発展 — ヨーロッパとアメリカの潮流 (1) —	藤田雅俊	1
突極半速同期式ブラシレス DC モータの特性 I — 近似解析による静特性の考察 —	川口武実	13
突極半速同期式ブラシレス DC モータの特性 II — 動特性の実験的考察 —	川口武実 古賀崇了	21
加熱殺菌装置の制御用数学モデルの構築	江崎昇 松永宗 多田儀	29
FeAs ₂ の熱分解によって生成するひ素ガスの平衡蒸気圧測定	重馬浩 久松越 古保賀	35
A Study on the TOEIC Test — Evaluation of the TOEIC Test as One of Teaching Materials —	Takanori ESHIMA	43
中世後期真宗聖教論への手がかり — 「御文」とは何か —	松尾一	51
表計算ソフト「エクセル」を用いて伝熱計算を解く — 定常解と非定常解 —	杉森欣三	67
第9回久留米高専産学民連携フォーラム テーマ「廃食用油のリサイクル」	富岡寛 加藤秀 藤文	73
第10回久留米高専産学民連携フォーラム — 21世紀の地域ネットワーク構想とその活用法 —	赤坂則之	77
第11回久留米高専産学民連携フォーラム — 風力発電に魅せられて —	中米 武倉 靖将 仁隆	81

一般論文

インダストリアル・デザインの起源と発展
— ヨーロッパとアメリカの潮流 (1) —

藤 田 雅 俊

Origins and Developments of The Industrial Design
— Trend in Europe and The United States of America (1) —

Masatoshi FUJITA

A modern design was new creative movement started with The Industrial Revolution that created the manufacture things, public relations, city environment, and living spaces of human. In Europe, beginning of the 20th century from the end of the 19th century, it was influenced by art movement and there were the method of new molding and progress of the skilled handicraft which is a technology aiming at improvement in method of expression. The subject of argument was method for coexistence of man's handicrafts and the production by the machine. The tradition of co-operation of a machine and handwork appears in the product design of every country in European countries.

1. はじめに

近代デザインは、産業革命による生産品や広報媒体、あるいは都市・生活空間の変化に伴い生み出されてきた創造活動である。ヨーロッパでは19世紀末から20世紀初頭にかけて、芸術運動と連動しながらそれまで培ってきた工芸品を生み出す熟練労働力を背景とし、造形の方法や、表現力の向上を目指して様々な試行を重ね職能化された。この過程で、人間のもつ技術が機械による生産と、いかに連動するかが常に課題となってきた。ヨーロッパ各国では、機械と手仕事の協調という伝統が、それぞれの国ごとの製品のデザインに表れている。

インダストリアル・デザインという呼称は、工業化による量産品の製造に関わる産業分野のデザインを指す。この職能が最初に現われたのは、1920年代のアメリカにおいてである。アメリカ社会におけるインダストリアル・デザインは、企業の収益向上をその最大の目的としている。熟練技術は乏しいが、豊富な単純労働者と材料資源をもつアメリカでは、消費者のニーズを商品に的確に反映することが、デザインの命題となってきた。インダストリアル・デザインは、今日世界共通の職能として認識されているが、ヨーロッパとアメリカのインダストリアル・デザインは、その成立と発展の過程、及びデザインの志向性に相違が見られる。

本論では、ヨーロッパでの産業革命に伴う近代デザインの成立と、これまでのヨーロッパ各国の商品デザインを概観し、それぞれの方法の違いを明らかにする。

2. 産業革命と商品概念

18世紀後半からヨーロッパで活発化した民主的社会を求める動きは、政治の近代化と共に、中世に成立していた都市の再構築を促し、また度々発生する疫病に対し、防疫技術を進化させた。これにより都市人口が急速に増大し、需要される物資の生産のため、産業の再編が進んだ。また科学技術の発展に伴い、機械化により生産性が飛躍的に向上した。産業革命と呼ばれるこの歴史の変革は、現在の文明の礎となっているが、この変化はそれまでの手工業による信頼性の高い製造方法に比べ、量産化に関心が傾き過ぎたため、安易で稚拙な商品が無秩序に氾濫する結果を招いた。今日「デザイン」と呼ばれる商品化に伴う職能は、産業革命により生み出された大量の粗悪品や、大衆の美的嗜好を満足できない工業生産品に対する反動運動から始まったと考えられる。

産業革命が本格的にヨーロッパに広がっていった19世紀まで、建築ではルネッサンス建築を再構成した新古典主義などの様式が注目を集め、これにあわせて、家具や生活用品の意匠は様式が混在した粗悪な量産品が氾濫しはじめていた。

一方で、1797年にゼネフェルダールにより版画技術

「リトグラフ」が、1837年にタゲールによる「タゲレオタイプ」写真技術が発明され、トーネットの木工曲げ技術が普及、1851年にイギリスではじめて催された万国博覧会の「クリスタルパレス」での鉄加工及びガラス製造の本格的生産など、芸術表現を大衆化するための技術も、この時期に新しい発展を見ることができるといえる。

このような工芸品製造や出版物、絵画製作、建築技術の表現方法が広がりを見せる中で、工業生産品により失われてきた生活環境の美的向上を提唱する運動が起きている。この時期の顧客は、一部の極端な富裕層に限られていたが、工業化製品の質的向上を求める動きは、ヨーロッパ全土で次々と連鎖して始まることとなる。ヨーロッパでの工業化に伴うデザインスキルの芽生えは、量産品による美的質の低下を改善しようとする運動である。これを支えたのは中世より伝統的に受け継がれてきたハンドクラフトの職人技術であり、時期を同じくして始まった芸術の近代化運動（印象派絵画など）による、大衆の美的価値観の変化である。

3. ヨーロッパにおけるプロダクト・デザインの系譜

3.1 イギリスにおけるデザイン

3.1.1 デザイン産業の胎動

ウィリアム・モリス（1834～1896）は、工業化によって失われつつある生活環境の芸術性を取り戻すために、建築からステンドグラス、テキスタイル、壁紙、家具などの室内装飾品のデザインを手掛け、自ら「モリス商会」を設立し、商品化のための事業を進めた。このようなデザインによる芸術性の復興はアーツ・アンド・クラフツ運動と呼ばれた。このデザイン運動は、思想家ジョン・ラスキンが提唱した中世復古主義の影響を受け、クラフトを中心に据え、手によって生み出されるデザインワークを尊重するものであった。この段階では、工業化とは一線を画し、その名が示す通り「工芸と美術」により「用と美」を重んじ、人間の手作業から役立つ芸術を生み出そうとする、一種の人間性回復の運動でもあった。この運動はその後労働者主体の社会活動を標榜するイギリス独自の社会主義活動にも受け継がれる側面があるが、モリスの主張の基本は、手仕事に対する愛着であり、晩年の「チョーサー著作集装丁」（写真-1）等のデザインでみられる総合芸術としての装丁には、彼の美への愛着が表れている。

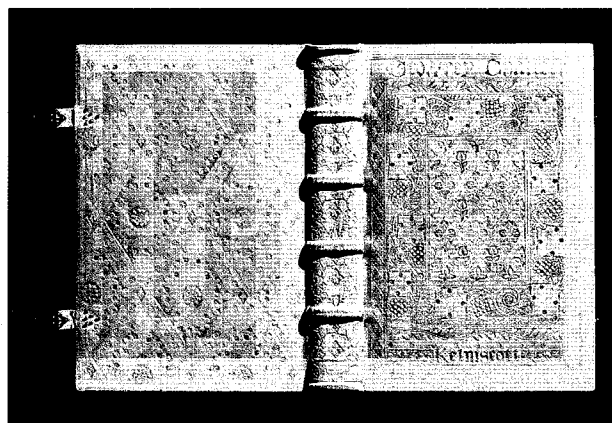


写真-1 「チョーサー著作集装丁」ウィリアム・モリス：出典・世界デザイン史

モリスに続くイギリスでの牽引者は、チャールズ・レイニー・マッキントッシュや、その妻でシルバークラフトのデザイナーであったマーガレット・マクドナルドが所属していた「ザ・フォー」を中心とするグラスゴー派である。アーツ・アンド・クラフツ運動の流れを汲みながら、独自の美意識より生み出される造形（写真-2）は、イギリス国内はもとより、オーストリア「ウィーン分離派（ゼセッション）」で大きな共感を呼び起こした。グラスゴー派のデザインは、この時期ヨーロッパ全土を被った世紀末様式とよばれる有機的な造形によるデザイン運動（ドイツのユーゲント・シュティール、オーストリアのゼセッション、フランスのアール・ヌーボーなど）に、デザインエッセンスとして大きな影響を残した。

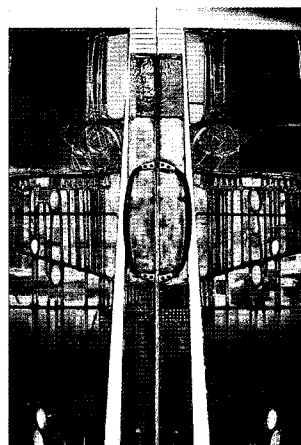


写真-2 「ウィーロー・ティー・ルーム/グラスゴー」チャールズ・レイニー・マッキントッシュ：出典・世界デザイン史

このようにイギリスで胎動しはじめたデザインの近代化運動は、やがて手工業にこだわる労働者運動と結びついたために、機械化による量産品のデザインという面で遅れをとることになった。

アーツ・アンド・クラフツ運動から影響を受けた「ドイツ工作連盟」を逆輸入する形で1915年になり「デザイン産業協会・DIA」が設立される。ここか

らイギリスでの本格的なデザイン・アンド・インダストリーへの道が始まる。

伝統的な美と新しい美を融合させていこうとするイギリスの美的価値創造の姿勢は、その後ロイヤルファミリーとパンクミュージックが同居する両義的文化として、イギリスのデザインの底流をなすこととなる。

3.1.2 第2次大戦後のイギリスのデザイン

19世紀まで海外貿易により富みを貯えたこの国では、対外的な商品競争力を高める手段としてデザインを捉えた。1944年の設立された「産業デザイン協会 CoID=Council of Industrial Design」はデザインを通じた貿易振興を念頭に置く、世界ではじめての機関であり、デザインの振興と支援、グッドデザインの奨励を国家規模で行っている。1982年、当時のサッチャー首相は、デザインの国民生活における重要性を明示した「サポート・フォア・デザイン・スキーム」(デザイン支援計画)を発表し、デザイン経費を補助すると共に、中学校のカリキュラムに、美術とは別にデザインを正課として取り入れ、大学入試資格の科目として扱い、デザインについて国民レベルでの啓蒙に取り組んでいる。

このような伝統と革新の文化が並存し、政治主導でデザイン支援を行っているイギリスでは、他の国とは異なるデザインの傾向が現われている。ジェームズ・ダイソンが発表した「サイクロン」と呼ばれる一連の電気掃除機(写真-3)は重力と遠心力を応用し、これまでにない形態と性能を獲得している。ダイソンはこの製品をベースとしてデザインカンパニーを興している。

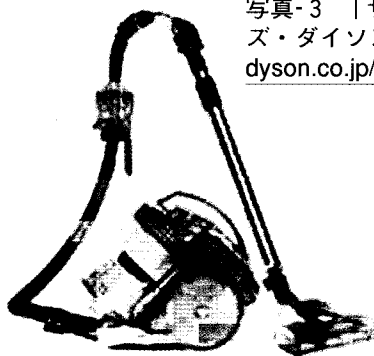


写真-3 「サイクロン」ジェームズ・ダイソン：出典・<http://www.dyson.co.jp/>

建築では1980年代以降、ロンドンのロイズ保険本社を手掛けたリチャード・ロジャース、上海バンク本社ビル設計を行ったノーマン・フォスターなど、ハイテク建築と呼ばれる新しい建築スタイルを提起

する建築家を多数輩出している。伝統的な建造物群の中に、工業製品による全く異なる建築機能を持ち込むスタイルは、新しい美の提案であり、フォスターの大英博物館のリニューアルプロジェクトなどで特に顕著である。古いものを守りながら常に先端を指向するイギリスの文化が強く意識されるデザイン活動である。

またテレンス・コンラン卿が提唱し、ステファン・ベイリーがセレクションを担当する「ザ・コンラン・ディレクター・オブ・デザイン」は世界各国のアノニマスな商品をセレクトする商品発掘事業である。価値を低く見られていた商品に、プレゼンテーションにより新しい価値を与えるディレクションは、グローバルな時代での、デザイン商品の新しい広がりを見せ始めている。大航海時代からの貿易の伝統が息づいている活動である。

3.2 オーストリアにおけるデザイン

「時代には時代固有の芸術を、芸術にはその自由さを」1897年ウィーンで結成された「分離派(ゼセッション)」は、過去の様式からの<分離>を表明し、新しい時代を目指す芸術運動であった。初代会長となったのはグスタフ・クリムトであった。クリムトの作品(写真-4)は即、過去の様式の決別とは捉えにくいだが、その色彩や構成はアール・ヌーボーなどのデザイン活動に大きな影響を与えた。

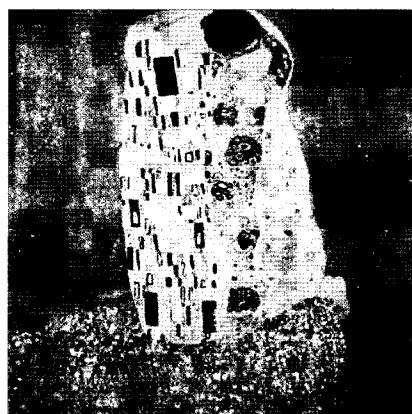


写真-4 「接吻」グスタフ・クリムト：出典・美術手帳/美術出版社

ゼセッションでは画家・彫刻家以外の、オットー・ワグナーやヨーゼフ・ホフマンなどの建築家が活動の主流をなしていく。ワグナーは新しい材料や製造技術をいち早く取り入れたが、その建築スタイルは工芸的装飾による美しさに満ちており、工業化に移行する過渡期の美学を提示している。ワグナーをついだホフマンやヨーゼフ・オルブリヒ(写真-5)はこの美学を踏襲し、グラスゴウのマッキントッシュとの交流を図るなど、運動を一つの様式として

確立していった。



写真-5 「ゼセッション館」ヨーゼフ・オルブリヒ：出典・世界デザイン史

1899年オルブリヒはドイツ・ダルムシュタット芸術村に招かれ、ユーゲント・シュティールに影響を与えた。一方ホフマンはウィーンの地で「ウィーン工房」を結成し工芸職人技術の復興を目指し、独自の造形活動を進めた。ホフマンは、マッキントッシュの影響も強く受け、アール・ヌーボーの曲線美とは一線を画す、直線構成によるデザインを進めた。

1908年に「装飾と罪悪」を発表した建築家アドルフ・ロースはギリシャの数的美学を基盤とした作品を発表し、ウィーン工房やユーゲント・シュティール、アール・ヌーボーなどの装飾を激しく否定した。ロースの提起した美学は、やがてル・コルビジエが提唱したモダニズム建築の理念へと引き継がれていく。

3.3 ドイツにおけるデザイン

ヨーロッパの国々と同様に、ドイツでも工芸の産業化からデザインが始まった。1899年ヘッセン大公エルンスト・ルドウィッヒに招かれたベルギー人・ヴァン・ド・ヴェルドやオーストリア人ヨーゼフ・オルブリヒらのデザイナーは、アール・ヌーボーなどに通ずる装飾様式「ユーゲント・シュティール（青春様式）」を実践した。

これに対して、機械化産業から生み出される製品について、その新しい技術を最大限造形に活かしていこうとする活動は、20世紀初頭のドイツで始まる。最初に行動を起こしたのは、1903年よりデュッセルドルフ工芸学校の校長を務めていたペーター・ペーレンスである。もともと建築家であったペーレンスは1906年からアルゲマイネ電気会社（AGE）の製品のデザインを依頼された。その翌年からは同社の

芸術顧問に嘱し（写真-6）、製品の改良、デザインコンサルタント、販売のためのグラフィックデザイン、工場の建築設計までを手掛けた。



写真-6 「AEG タービン工場」ペーター・ペーレンス：出典・世界デザイン史

一方1896年からドイツ大使館付きの通商事務官として赴任したヘルマン・ミュージテウスはもともと建築家であったが、イギリスにけるアーツ・アンド・クラフツ運動を調査し、帰国後従来の工芸芸術活動の産業への積極的な関わりの重要性を訴えた。この提唱が基になり1907年ミュンヘンにおいて「ドイツ工作連盟（ヴェルクブンド）」が結成される。開会にあたり主要メンバーのひとりフリッツ・シューマッハーが行った講演では、工業製品の造形はモリスが目指した製造者と造形家が一体である中世的工芸から、両者が分離した別の職能になることの必然を説いた。この造形家が今日のインダストリアル・デザイナーである。このような思想に基づき、各々の専門家は良質な生活用品の造形を目指したが、工業化を前提とした生産方法と造形的な質の両立を目指す過程で、規格化・標準化という課題に突き当たる。1914年ケルンの工作連盟展で、工業化による質の向上を目指し標準化を主張するミュージテウスやペーレンスは、工芸的な美を重要視したヴァン・ド・ヴェルド（写真-7）やブルーノ・タウトなどと対立する。工業化による新しい表現や、すそ野の広いデザイン活動への展望と、固有の芸術性や創造性の自由を主張する対立は解決することなく、ドイツは第一次大戦に突入する。しかしこの戦争により、産業界は規格化・標準化の方向に進むことになる。



写真-7 「机」ヴァン・ド・ヴェルド：出典・世界デザイン史

第一次大戦の敗戦後、11月革命によりワイマール共和国が成立した1919年、建築家ヴァルター・グロピウスを中心としてチューリンゲン州ワイマールに総合芸術学校「バウハウス（1919～1933）」が設立された。バウハウスは、その初期にはモリス～ヴェ

ルクブンドの工芸運動を意識したロマン主義的・表現主義的な活動を行うが、常にその視線の先に工業化社会での製品の質的向上、生活の中に意識される芸術を見据えていた。バウハウスの理念は、建築を中心として絵画、彫刻、工芸などの諸芸術と、職人的手仕事を統合する造形芸術を目指し、実験的創作と訓練を基にしながら地域社会や企業と連携し、生產品のプロトタイプを製作提案していく革新的な教育プログラムを組んでいた。

バウハウスの実践的教育方法や校舎、工房などの教育環境、地域や産業との結びつきなどは、その後世界の教育システムに多大な影響を残す。特に校舎をデッサウに移した1925年以降、ここでの製作活動で、工業化を基盤とした合理性に満ちたデザインを実践することとなる。マルセル・プロイヤーの「パイプ安楽椅子」(写真-8)や、校長であったワルター・グロピウスによるガラスのファサードを持つデッサウ校舎(写真-9)は、第二次大戦前の近代デザインの代表である。その美意識の底流には、生産的・構造的合理性の追求と技術の進展に伴う新しい美の追求があった。バウハウスはミース・ファン・デル・ローエが校長を勤めていた1933年にナチスの弾圧のもと解散に至る。バウハウスで教育を担当していた建築家・デザイナーの多くが、その後戦場となったヨーロッパを離れアメリカに移住し、戦後のデザインの本格的産業化に大きな貢献を行うことになる。

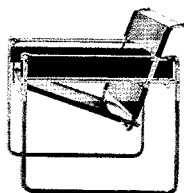


写真-8 「パイプ安楽椅子」マルセル・プロイヤー：出典・世界デザイン史

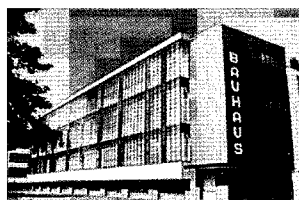


写真-9 「バウハウス校舎／デッサウ」ワルター・グロピウス：出典・世界デザイン史

バウハウスの美学は様々な分野で展開されたが、今日のエディトリアル・デザインの基礎となった、モホリ＝ナギやヘルベルト・バイヤーは特筆される。書体ではバイヤーの考案した「ユニバーサル・タイプ」やパウル・レンナーの「フーツラ」は、今日のコンピューター書体としても、なお支持されている。また構成主義的な紙面構成(写真-10)は、その後のエディトリアルデザインの規範となった。



写真-10 上「絵画・写真・映画のエディトリアル」モホリ＝ナギ／下「カンディンスキー展のポスター」ヘルベルト・バイヤー：出典・世界デザイン史

戦後のドイツでは、バウハウスの伝統を受け継ぐウルム造形大学が1955年に開校し、機能美に溢れるデザイン作業を行う。校長を勤めたマックス・ビルによるユンハンス社の「壁掛け時計」(写真-11)を

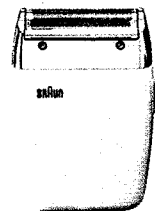
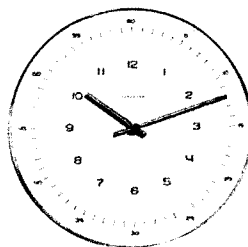


写真-11 「壁掛け時計」ユンハンス社：出典・世界デザイン史
写真-12 「シェーバー」ブラウン社：出典・世界デザイン史

はじめ、ブラウン社シェーバー(写真-12)やオーディオなどの一連のプロダクト製品、コダック社の「カルーセル・スライドプロジェクター」(写真-13)、オルト・アイヒャーの「ルフトハンザのトータル・デザイン」などドイツのデザインテイストの土台となっている。

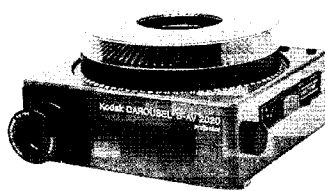


写真-13 「カルーセル・スライドプロジェクター」コダック社：出典・世界デザイン史

工学システムと造形システムの統合を目指すドイツは、緻密な計算と厳格な秩序感による構成が大きな特徴となっている。これを実践する企業も、カメラのコンタックス、ライカ、ローライ・フレックス、ミノックスなど、自動車メーカーのフォルクスワーゲン、BMW、メルセデスなどは、世界企業として発展し、今日のカーデザイン・スタンダードをつくった。特にフェルナンド・ポルシェが発表したデザインは、独特の空冷対向エンジンと、アイデンティティに満ちたデザイン(写真-14)で、今日もなお高い評価を得ている。フェルナンドなきあとのポルシェ

は、その高いデザイン力を活かし、オリジナリティのあるデザインプロダクトを発表する世界有数のデザインコンサルタント会社に成長している。

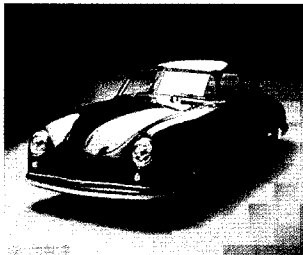


写真-14 「356 クーペ／ボルシェ社」フェルナンド・ボルシェ：出典・世界デザイン史

その他総合企業シーメンス、工具のBOCH、またカール・ポトなどのナイフ&スプーンや、ヴァーゲンフェルト、トゥルーデ・ペトリの食器などのプロダクト製品は世界的に広く受け入れられている。日本でも人気の高い書体「オプティマ」をデザインしたヘルマン・ツアッパは、アメリカ数学会の依頼によりコンピューターによる数学用の書体「AMS Euler」の開発を行っている。また公共意識の高いドイツでは最も早い時期から「パブリック・プロダクト」の理念が確立されており、伝統を重んじながら、新しい都市環境の創出にも積極的に取り組んでいる。

3.4 フランスにおけるデザイン

19世紀末のフランスではジャポニズムと呼ばれる日本の浮世絵などの影響を受けた芸術活動が盛んであった。印象派絵画などに特に顕著であるが、デザイン、特にポスター製作などのグラフィック分野での影響は大きかった。ドゥルーズ・ロートレックやアルフォンス・ミュシャのベル・エポック（第一次世界大戦までの半世紀）のポスター（写真-15）



写真-15 「サロン・デ・サン第20回展覧会のポスター」アルフォンス・ミュシャ：出典・世界デザイン史

は当時のパリの華やかさが、浮世絵の構図や色彩をベースとして表現されている。ベル・エポック時代にポスターが大きく開花したのは、写真印刷やカラー印刷が普及し、大型の印刷物が一般的になったことが大

きい。このような大衆化された芸術の普及にあわせ、1895年サミュエル・ビングが開いた美術店の名前から生まれた「アール・ヌーボー」は、ビングが日本の陶磁器などの工芸品を紹介したことから始まり、アメリカの建築家ルイス・サリヴァンやガラス工芸家ルイス・ティファニー、ベルギーのヴィクトール・オルタやヴァン・ド・ヴェルドなどの建築工芸家を紹介、植物をモチーフとした有機的で華やかなデザインの新興運動に結びついていく。イギリスのモリスが提唱したアーツ・アンド・クラフツ運動が大陸で様式として定着したものである。パリではエクトール・ギマールによる鋳鉄とガラスの「地下鉄入り口」（写真-16）や「カステル・ベランジェ」などの建築及び室内デザインは、現在でもなおパリのイメージをつくっている。



写真-16 「地下鉄入り口」エクトール・ギマール：出典・世界デザイン史



写真-17 「ひとよ茸ランプ」エミール・ガレ：出典・世界デザイン史

アール・ヌーボーはロレーヌ地方のナンシーで総合的なデザイン活動として展開した。ガラス工芸会社を経営していたエミール・ガレ（写真-17）は1889年の万国博覧会に新しいガラス製品を300点出品しているが、その意匠には日本の工芸品の影響が色濃く反映されている。さらにウィリアム・ド・モーガンやドーム兄弟（写真-18）などが新しい表現の工芸品を発表した。アール・ヌーボーは工業化への移行段階のヨーロッパ各国に大きな影響を与えた。



写真-18 「堇文ガラス器セット」ドーム兄弟：出典・世界デザイン史

これはデザインの重要性を強く認識させると同時に、モリスの提唱した、機械化・工業化デザインの前提に、人の手による芸術性が不可欠であることを、産業界に示した運動であった。

この運動は、1925年になり「近代装飾美術・産業美術国際展」で一つの転機を迎える。伝統的な工芸をベースとしたデザイナーたちは、装飾の分野に自分たちの活動の場を求め、<装飾美術>の名称にこだわった。雑誌「エスプリ・ヌーボー（新精神）」を発行しこれに、反対した建築家ル・コルビジエ（本名エドワード・ジャン・ヌレ）は、この展覧会に「エスプリ・ヌーボー館」を出品し反論を裏付けた。

この展覧会で工芸家たちが展開したのは、それまでのアール・ヌーボーではなく、世界有数の都市となったパリの都市美に対応した新しい様式であった。パブロ・ピカソやジョルジュ・ブラックといった立体派の画家の影響を受けたデザインは、「装飾美術＝アール・デコ」（写真-19）と呼ばれた。商業主義が後押ししたこの運動は、やがてアメリカ、日本に流出した。



写真-19 「ノルマンディ号のポスター」AMカッサンドル：出典・世界デザイン史

その後工業化による建築表現を、徹底的に確信したコルビジエは、コンクリートと鉄、ガラスという20世紀の材料の特性を活かし、柱・スラブ構造の「ドミノ・システム」や量産化住宅「シトロアン・ハウス」、革新的な集合住宅「ユニテ・ダビシオン」（写真-20）など、建築における現代のスタンダードを提示した。また国際的な建築家の代表とされるコルビジエは、その創作活動において、絵画・彫刻などで立体派の影響が強く見られ、芸術の国フランスだからこそ生まれ得た才能であることを意識させられる。



写真-20 「ユニテ・ダビシオン」ル・コルビジエ：出典・建築文化 No.651

製品における表現力に強い感心を寄せるフランスの国民性は、農業国でありながら、工業品のデザインについてもオリジナリティを重視する。シトロエンの「2CV」と「DS19」（写真-21）は共にフラミニオ・ベルトーニによるデザインであるが、全く異なった個性を持つ製品となっている。自動車メーカーとしてはルノーやプジョーが、国際的企業としてオリジナリティの高い製品を供給している。

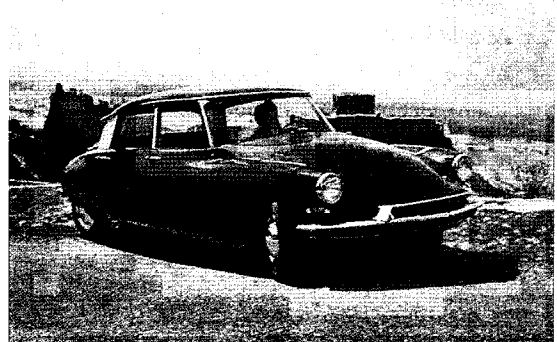


写真-21 「シトロエン/DS19」フラミニオ・ベルトーニ：出典・世界デザイン史

ビッグのボールペン、メリオールのコヒー・ポッド「シャンポール」、ジッツォーのカメラ三脚、ココ・シャネルの香水パッケージ、タイヤメーカー・ミシュランがはじめた世界中の旅行地図「ミシュラン・ガイド」など、機能を超える独自性の高いデザインを目指している。その伝統的成果は、ポンピドゥー・センターでのデザイン啓蒙などを経て、1981年ヨーロッパ主要都市を結んだ「TGV」や、1991年当時のパリ市長シラクが進めた「グラン・プロジェクト」によるパリの都市改造など、先進国の何れにも引けを取らない充実したデザインに現われている。

3.5 オランダにおけるデザイン

1917年オランダのライデンで結成された「デ・ステール」は、フランスの立体派などの影響を受け、個人的恣意性を排除した抽象の美を追求した。中心となったテオ・ファン・ドゥースブルフは発行した機関誌でその思想を表明し、画家モンドリアン（写真-22）、建築家 J. J. アウト、「レッド・アンド・ブルー・チェア」（写真-23）を発表したリートフェルトなど絵画から都市計画、建築空間、プロダクト製品に至る総合的な造形運動となった。

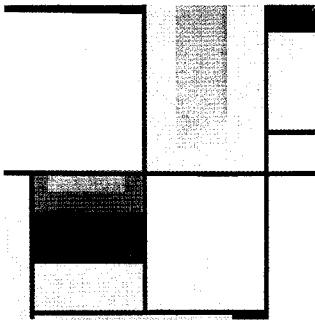


写真-22 「コンポジション」
モンドリアン：出典・世界
デザイン史

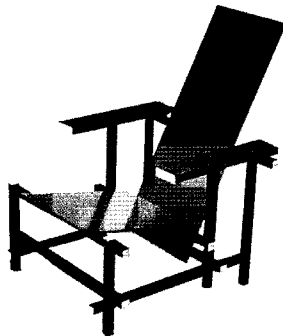


写真-23 「レッド・アンド・
ブルーチェア」リートフェルト
：出典・世界デザイン史

その一方でアムステルダム派と呼ばれた H. P. ベララーへに代表される一連の活動は、世紀末からの様式主義を排除することを主張し、〈用の美〉を追求したが、その表現には伝統的な材料や表現に対する愛着が見られ、ドイツ表現主義やアメリカのフランク・ロイド・ライトに通ずる有機的合理主義と呼べるものである。

バウハウスにも影響を与えたデ・ステールの伝統は、現代のオランダのデザインまで引き継がれている。世界的電機メーカー「フィリップス社」（写真-24）は1925年頃からデザイン部を置き、企業戦略としてデザイン処理を重要視してきた。1948年から開発・生産されている回転式シェーバーは、ドイツ・ブラウン社の振幅式シェーバーの対極的デザインとして、技術とデザインのオリジナリティに重要性を置くヨーロッパデザインの代表と言える。「トータル・デザイン」はグラフィックデザインを中心として、空間デザインや企業戦略などの総合的なデザイン活動を早くから行ってきた。1967年のスキポール空港のサインデザイン（写真-25）や、航空会社 KLM の CI（コーポレート・アイデンティティ）はわかりやすく簡潔なデザインで評価されている。

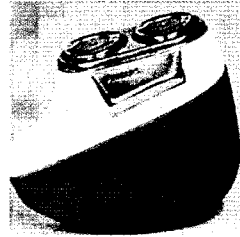


写真-24 「シェーバー/フィ
リップス社」：出典・世界
デザイン史



写真-25 「スキポール空港
サインデザイン」トータル・
デザイン：出典・世界デザ
イン史

3.6 イタリアにおけるデザイン

イタリアはレオナルド・ダ・ヴィンチを生んだ才能に溢れる国である。伝統である自由な発想は、ルネサンスなど数々の独自性の強い運動を興してきた。またベネチア・グラスに見られるように、中世より職人の高いレベルを維持している社会でもあり、現在でも丁寧な手仕事による独特の製品化が受け継がれている。フェラーリなどの自動車メーカーは、ドイツや日本の高度に工業化された製造ラインとは一線を画す、少量高品質の生産を続けている。モーターサイクルにおいても、独自のデスマドロミック機構による高性能車を生産し続ける「ドゥカッティ」や、スクーターの老舗「ヴェスパ」など、他国では類を見ないオリジナリティに溢れたデザインを進めている。世界の最先端と言われるイタリアのカーデザインは、ピニンファリーナ（写真-26）やジョルジオ・ジウジアーロなどが活動する「カロッツェリア」と呼ばれる小規模のデザインスタジオがデザインを担当している。

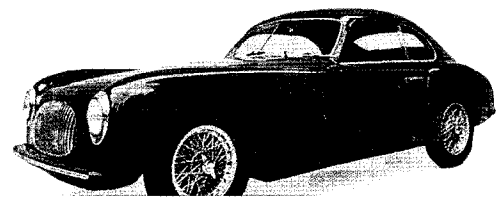


写真-26 「シチタリア 202GT」ピニンファリー
ナ：出典・世界デザイン史

また世界的タイプライターメーカー「オリベッティ」はマルチェロ・ニッツォーリやエットーレ・ソットサスなどのデザイナーを育てている。

パリに並んで先端的ファッションデザインの発信拠点であるミラノコレクションに見られるように、デザインを重視する国民性は、デザインに相応の報酬を認めデザイナーの活動を支えている。イタリア

は、ピニンファリーナがマツダ117クーペを、ジウジアーロはニコンのカメラデザイン、ソットサスはイトーキのオフィスファニチャー、ルイジ・コラーニはキャノンのカメラデザイン、マリオ・ペリーニは銀座資生堂ビルを、その他アンジェロ・マンジャロッティ、アルド・ロッシなど多数のデザイナー・建築家が日本をはじめとして世界で活躍するデザイナー・建築家である。

3.7 スイスにおけるデザイン

ドイツのウルム造形大学の設立に関わったマックス・ビルはスイスの出身であるが、スイスにおけるデザインは、ドイツにおける合理的造形を、時計などの精密加工品に展開した。大量生産ではなく、少量高品質の製品にふさわしい造形を、アポロ宇宙計画に採用された「オメガ・スピードマスター」やエベレスト登頂の正式装備となった「ロレックス・オイスター・パペチュアル」など、機能を極限まで追求した精度と造形が息づいている。ヴィクトール・ノックスの仕官用万能ナイフ「チャンピオン」はアメリカ陸軍の指定品となっている。

スイスにおけるグラフィックデザインは、厳格な割り付けのルールと端正な書体デザインからなり、「スイス派タイポグラフィ」(写真-27)と呼ばれる。理解しやすいグラフィックは戦前の構成主義や、バウハウス～ウルムの伝統的な規範性を重視したデザインで、日本のエディトリアル・デザインにも大きな影響を与えた。

Neue Grafik New Graphic Design Graphisme actuel

2



写真-27 「ノイエグラフィック誌のタイポグラフィ」:
出典・世界デザイン史

近年では、伝統的な製造技術を活かした独自の設計思想を深めると共に、より広い市場を目指し、世界のデザインを積極的に取り入れる「スウォッチ社」などのポストモダン・デザインにも取り組んでいる。(写真-28)

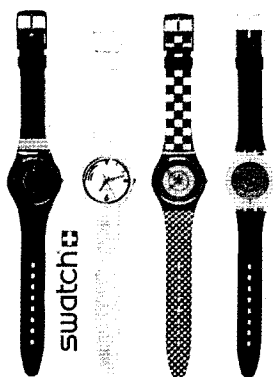


写真-28 「スウォッチコレクション/スウォッチ社」:
出典・世界デザイン史

3.8 スカンジナビアのデザイン

20世紀初頭より工芸芸術と工業化デザインが葛藤し、デザインの産業化が促された中央ヨーロッパの国々と異なり、北欧の国々(特にスウェーデン・デンマーク・フィンランド)は、独自の緩やかで着実な変化を重ねてきた。量産化に走らず、伝統的な手工業と豊かな自然素材を、効果的に利用したデザインは、長く人々に愛されるものが多い。一方では科学技術の推進についても敏感であり、自国の特徴にあわせた高い品質をもったデザイン開発が盛んである。

3.8.1 スウェーデンにおけるデザイン

現在世界各国で開催されている「ICSID(世界デザイン会議)」の第一回大会がストックホルムで開催されたスウェーデンはデザインへの関心が高い。北欧ではもっとも工業化が進んだこの国では、優れた硬度を持つスウェーデン鋼を使用したパーコ社の工具など、無駄を省きデザインポリシーに溢れた製品を製造している。耐久性や安全への信頼性の高いヴォルボやサーブなどの自動車、ハスクバーナのモーターサイクルは、シクステン・サッソンのデザインになる「サーブ92・93」など、精密で他国の自動車とは異なる存在感を保持している。同じくサッソンのデザインとなる「ハッセルブラッド社」の6×6cmサイズを創造した一眼レフカメラ(写真-29)である。1949年以来、その形態はほとんど変わることなく現在でもプロフェッショナルユースの道具として、比類ない信頼性を得ている。

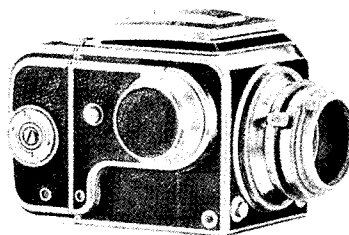


写真-29 「6×6カメラ/ハッセルブラッド社」シクステン・サッソン: 出典・世界デザイン史

リンドベルグの陶器，メリンの耐熱ガラスなどは，テーブルウェアの機能を追求した製品である。通信機器メーカー，「エリクソン」はストックホルムに本社を置くグローバル企業であり，スタイリッシュでシンプルなデザインは独特な美しさを持っている。

3.8.2 デンマークにおけるデザイン

イギリスとのつながりが深いこの国は，ドイツやフランスとのデザイン交流も盛んである。アルネ・ヤコブセンの「スタッキング・チェア」(写真-30)やハンス・ウェグナーの「Y・チェア」(写真-31)，ポーゲ・モーエセンの「シェーカー」と名付けられたダイニングセットなどの家具や，ポール・ヘニングセンの「マツカサ」と呼ばれる照明器具は，暖かみのある安心感をシンプルな形態で表現している。



写真-30 「スタッキング・チェア」アンネ・ヤコブセン：出典・世界デザイン史



写真-31 「Y・チェア」ハンス・ウェグナー：出典・世界デザイン史

その他，ロイヤル・コペンハーゲンの陶磁器，エリック・マグネッセン等の水差しやテーブルウェア，子供の教育的玩具「レゴ」，高品質でシンプルなデザインが高い人気を誇るオーディオ「B&O」(写真-32)，「オルトフォン」のピックアップなどは，独自のデザインが生きている。イエンス・ニールセンが監修したデンマーク国鉄「DSB」のCIは，常に使い手の立場で考える「デーニッシュ・モダン」の典型として，世界各国の鉄道会社の規範となっている。

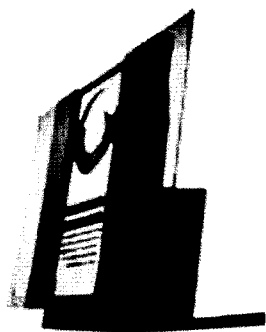


写真-32 「B&O Beo Sound 3000/B&O 社」：Copyright Bang & Olufsen 2000

3.8.3 フィンランドにおけるデザイン

西ヨーロッパの先進性と東ヨーロッパの堅実性をあわせ持ったフィンランドは，機能を素直に形態に反映させる知的技術とを持っている。アルヴァー・アアルトの建築は，環境条件を率直に捉え，そこに相応しい材料と工法を適用する，工業量産化とは異なるモダニズムを実践した。豊かな森林に恵まれたこの国では，合板を建築や家具にいち早く応用している。カイ・フランクのアラビア製陶器会社は，1950年に発表した「テーマ」(写真-33)シリーズの食器など，機能をシンプルに表現したデザインで，世界中で親しまれている。また携帯電話商品が日本でも発売されている「ノキア」などの，通信機器の世界的メーカーを育てるなど，情報化産業の育成にも積極的である。



写真-33 「テーブルウェア・テーマシリーズ/アラビア製陶器会社」カイ・フランク：出典・世界デザイン史

4. ま と め

それぞれに異なる風土と文化，培われて長い伝統が育んできたヨーロッパ各国の個性は，産業革命を機にした交流によって画一化することなく，それぞれの独自性を失わないデザインを推進している。その根底には，伝統がもつ工芸的なものづくりへのこだわりが，共通してみられる。技術の革新は，最終的に人間社会の向上に還るべきだとする産業理念は，ドイツやスカンジナビアで積極的に進められ始めた環境への配慮を目的とするリサイクルや，イギリスやフランス，イタリアでより際立ってきている，良質なデザイン供給こそが，国際的な競争力を獲得する手段であるという方向性に現われている。

良いデザインと売れるデザインの境界は，非常に曖昧であるが，ヨーロッパのデザイン・クオリティを見る限り，その両者に大きな隔たりは感じられない。情報革命によりグローバル社会へと向かうとされている今日でも，最終的な競争力は，デザインを前提条件とした商品力にあることに変わりはないという姿勢がうかがえる。インダストリアル・デザイ

ンのあるべき方向性に、ヨーロッパ各国は大きな関心を持ち、試行を重ねている。

参 考 文 献

- 1) 海野 弘：現代デザイン，(2001)，新曜社
 - 2) 藤田治彦ほか37名：国際デザイン史，(2001)，思文閣出版
 - 3) 阿部公正ほか5名：世界デザイン史，(1995)，美術出版社
 - 4) ベニー・スパーク著 白石和也・飯岡正麻共訳：近代デザイン史，(1993)，ダヴィッド社
 - 5) 文化科学高等研究院編 山本哲士ほか7名：都市化する力，(1992)，三交社
 - 6) ヴィクター・パバナック著 阿部公正訳：生きのびるためのデザイン，(1974)，晶文社
 - 7) 日本デザイン機構編 栄久庵憲司ほか34名：デザインの未来像，(1996)，晶文社
 - 8) 竹内 実・西川長夫編著：比較文化キーワード，(1994)，サイマル出版会
-

一般論文

突極半速同期式ブラシレス DC モータの特性 I

— 近似解析による静特性の考察 —

川 口 武 実

Static Performance Characteristics based on an Approximate Analysis of Salient Rotor Half-Speed Brushless DC Motor

Takemi KAWAGUCHI

The static performance characteristics based on an approximate analysis of a PWM-VSI-fed half-speed brushless motor with salient rotor are described. That analysis was developed by Kawaguchi et al., and applied to the cylindrical rotor type in the earlier paper. The experimental current waveforms in addition to theoretical stator and rotor current waveforms are given, and analysis results are compared with the characteristics of a cylindrical rotor type and reluctance type without q-axis rotor winding, having the same frames. The static characteristics of the salient rotor type are made clear in this paper.

1. ま え が き

高性能永久磁石の普及とパワーエレクトロニクスの進歩により、最近では出力50kW程度まで永久磁石形 AC サーボモータが使用されるようになった。同一出力で比較すると、効率の面でも励磁電力が不要であるから他のモータドライブシステムの追従を許さない状況にある。唯一ともいえる欠点は永久磁石の切削加工が困難な点で、寸法精度を要求される場合ダイヤモンド砥石による研磨が必要となる。

他方、著者らは従来から、固定子は普通の同期電動機と同じで、回転子に単相短絡巻線 (q 軸制動巻線) を施しただけの簡単なブラシなし構造の半速同期電動機^{1)~5)} や、本機の回転子位置をフィードバックする半速同期式ブラシレス DC モータ⁶⁾ の研究を進めてきた。

回転子位置フィードバック方式に関しては、半速同期電動機と双方向性 PWM 周波数変換器で構成される可変速ブラシレス倍同期発電機システム⁷⁾ において、状態変数法による詳細な計算機シミュレーションや近似解析により、定常特性の理論的解明を行った。また、この近似解析手法を円筒形回転子の PWM インバータ駆動半速同期式ブラシレス DC モータ定常特性解析に適用し、平均トルクの近似式等を導出した⁸⁾。

本論文では、前報⁸⁾ で報告した円筒形回転子半速同期式ブラシレス DC モータと固定子内径、エアギャップ長および鉄心積厚が全く同一の突極回転子の場合について前述の近似解析法⁸⁾ を適用し、電流解やトルク式を導出した。さらに解析結果と実験結果を基に、円筒形、突極形および回転子 q 軸制動巻線を取り除いたリラクタンス形間における特性の優劣の比較を同一主要寸法のもとで明らかにした。

2. 突 極 回 転 子

主要寸法を円筒形の場合と同一にして比較検討を行うため、前報⁸⁾ で解析の対象とした電動機を改造した。図1に改造前の円筒形回転子を示す。回転子電流観測のため回転子軸にはスリップリングが付属

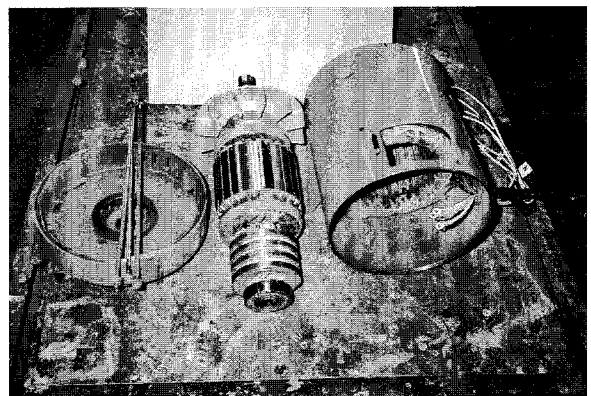
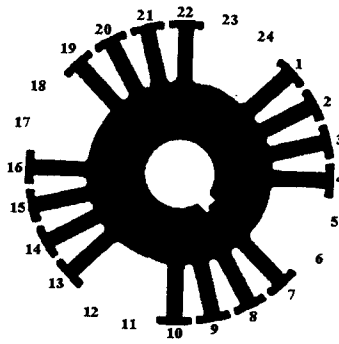
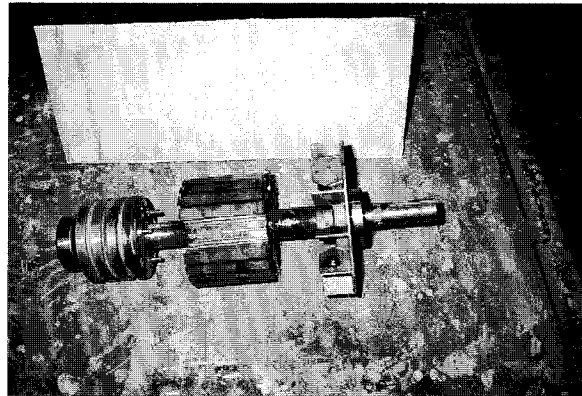


図1 円筒形回転子

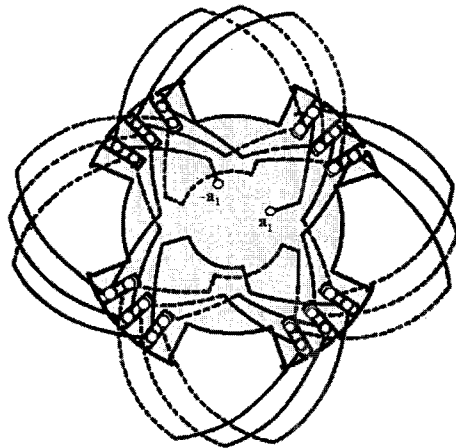


(a)

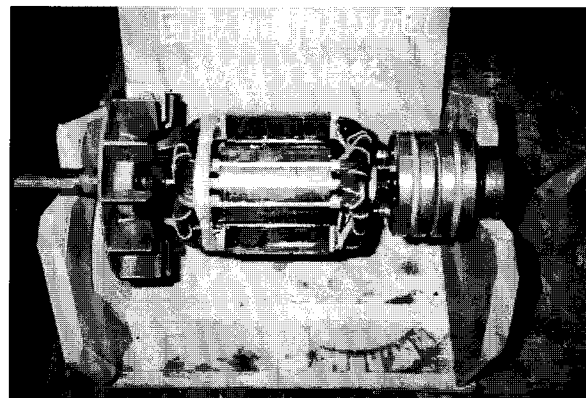


(b)

図 2 突極形回転子鉄心



(a)



(b)

図 3 q 軸制動巻線付突極形回転子

表 1 電動機定数

円筒形				
$I_a + L_a$	$L_s = I_a + (3/2)L_a$	L_r	M_{sr}	σ
25.00mH	37.50mH	122.0mH	52.20mH	0.107

I_a : 固定子巻線1相の漏れインダクタンス
 L_a : 固定子巻線1相の主自己インダクタンス
 L_r : 回転子 (q軸) 巻線の主自己インダクタンス
 M_{sr} : 固定子および回転子巻線間の相互インダクタンスの最大値
 $\sigma = 1 - (3/2)M_{sr}^2 / (L_s L_r)$: 漏れ係数

突極形				
$L_a = (3/2)(L_0 + L_2)$	$L_q = (3/2)(L_0 - L_2)$	L_{kq}	M_{sr}	σ
32.07mH	19.64mH	49.79mH	23.06mH	0.184

L_0 : 固定子主自己インダクタンスの平均値
 L_2 : 固定子主自己インダクタンスの変動の振幅
 L_{kq} : 回転子 (q軸) 巻線の主自己インダクタンス
 M_{sr} : 固定子および回転子巻線間の相互インダクタンスの最大値
 $\sigma = 1 - (3/2)M_{sr}^2 / (L_q L_{kq})$: 漏れ係数

している。實際上回転子 a 相と b 相巻間を短絡するので、1 相分の巻線は使用しないことになる。図 2 (a), (b) は、図 1 に示す回転子鉄心の一部を取り除き突極形としたものである。q 軸制動巻線を施さなくてもこのままでリラクタンストルクを発生する。図 3 (a), (b) に q 軸制動巻線を施した突極形回転子を示す。巻線は 1 相分でよいから電気装荷は円筒形の半分となる。回転子を組み込んで電動機定数測定を行ったところ表 1 の結果が得られた。比較のため円筒形の定数⁸⁾も示している。

3. 突極半速同期式ブラシレス DC モータ

図 4 に示すように本機は、PWM インバータ、突極半速同期電動機、位置検出器 (12ビットアブソリュートエンコーダ) および 16ビットマイクロコンピュータ (以下マイコンと略記) で構成される。モータ軸に取り付けた位置検出器により瞬時回転子位置をフィー

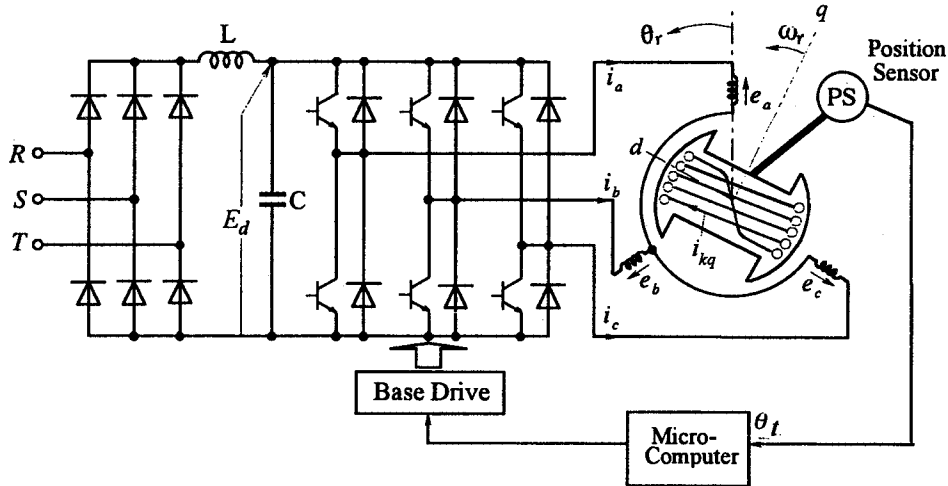
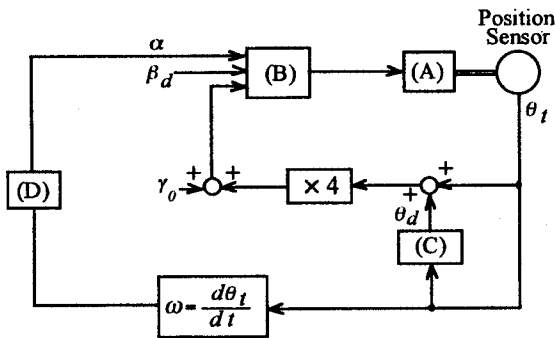


図 4 突極半速同期式ブラシレス DC モータの構成



(A) Inv. & Half-speed synchronous motor.
 (B) Calculation of pulsewidth.
 (C) Calculation of the variation of θ at one interruption period.
 (D) Determination of α for constant V/f .

図 5 制御システム構成

ドバックし、それを基に PWM インバータスイッチング時刻演算をマイコンに実行させる。

図 5 は制御システム構成を示す。図の (A) と Position Sensor 以外は C 言語を採用しソフトウェア構成としている。なお本機は原理上固定子回転磁界に静止磁界を重畳する必要があり、正弦波（基本波変調波）にわずかな直流分を加えた変調波と三角波搬送波の交点を求め、これからインバータのスイッチング時刻を決定する。図において、 θ_t ：検出角、 θ_d ：ソフトウェア上の割り込み期間中の回転子回転角の変化分、 α ：基本波変調率、 β_d ：直流分の変調率をそれぞれ表す。回転子は固定子回転磁界のちょうど半分で回転するから、位相を考慮しないとときの基本波変調波は、2 極機の場合 $\sin 2\theta_t$ で与えられ（実験機が 4 極なのでこの図では 4 倍している。）、さらに速度制御の際に制御系の

操作量としても使用できる設定位相角 γ_0 を加えて $\sin 2\theta_t$ に対する実際上の基本波変調波の位相角とする^{*}。

4. 近似解析

4.1 q 軸制動巻線付突極回転子

インバータの出力電圧波形は、基本波に直流分と高調波成分が重畳した複雑な波形であり、正確な電流波形を計算するには、電圧方程式を $d-q$ 変換によって定係数の微分方程式に変換したのち、状態方程式に書き改めて解けばよい。これは数値解であり、理論式を引き出すには他の方法によらねばならない。本節では、川口らが提案した近似解析手法⁷⁾⁸⁾を用いて解析を行う。すなわちインバータまたはモータの端子電圧に含まれる基本波と直流分のみを考慮（したがって高調波は全て無視）し、かつ電圧の交流分に対しては全ての巻線抵抗を無視し、更に直流分に対してのみ固定子巻線抵抗を考慮する。解析の対象は 2 極機とし、更に次の仮定を設ける。

- (i) 回転子は一定の角速度 ω_r [rad/s] で回転する。
 - (ii) インバータとモータ間の配線抵抗は無視する。
 - (iii) 磁路の飽和、空間高調波の影響は無視する。
- まず、上記 (i) ~ (iii) の仮定のもとでは次の

*：電動機軸に対する位置検出器の取り付け角度によっては、基本波位相角にさらに適当なオフセットを加える必要があるが、固定子 a 相巻線軸と回転子 q 軸が一致したとき位置検出器の指示値がゼロとなるように取り付けておけばオフセットは必要でなく、その考察と実験的検証については別報で報告する。

電圧方程式が成立する。

$$[e] = d\{[L][i]\}/dt + [r][i] \quad (1)$$

ただし、

$$[e] = \begin{bmatrix} e_a(t) \\ e_b(t) \\ e_c(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad [i] = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \\ i_{kq}(t) \end{bmatrix} \quad [r] = \begin{bmatrix} r_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{kq} \end{bmatrix}$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_0 - L_2 \cos 2\theta_r & -L_0/2 - L_2 \cos(2\theta_r - 2\pi/3) \\ -L_0/2 - L_2 \cos(2\theta_r - 2\pi/3) & L_0 - L_2 \cos(2\theta_r - 2\pi/3) \\ -L_0/2 - L_2 \cos(2\theta_r + 2\pi/3) & -L_0/2 - L_2 \cos 2\theta_r \\ M_{sr} \cos \theta_r & M_{sr} \cos(\theta_r - 2\pi/3) \\ * & * \\ -L_0/2 - L_2 \cos(2\theta_r + 2\pi/3) & M_{sr} \cos \theta_r \\ -L_0/2 - L_2 \cos 2\theta_r & M_{sr} \cos(\theta_r - 2\pi/3) \\ * & * \\ L_0 - L_2 \cos(2\theta_r - 2\pi/3) & M_{sr} \cos(\theta_r + 2\pi/3) \\ M_{sr} \cos(\theta_r + 2\pi/3) & L_{kq} \end{bmatrix}$$

$$\theta_r = \omega_r t + \delta_I \quad (2)$$

また、 $e_a(t)$, $e_b(t)$, $e_c(t)$: インバータ負荷各相の電圧, r_a , r_b , r_c , r_{kq} : 固定子と回転子の巻線抵抗, L_0 , L_2 , M_{sr} , L_{kq} : 表 1 参照, δ_I : $t = 0$ において固定子 a 相巻線軸と回転子巻線 q 軸の成す角

高調波を無視するものとすれば、インバータ負荷各相の電圧は次のように表せる。

$$\begin{bmatrix} e_a(t) \\ e_b(t) \\ e_c(t) \end{bmatrix} = \sqrt{2} E \begin{bmatrix} \sin \omega_s t \\ \sin(\omega_s t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega_s t - 4\pi/3) \end{bmatrix} + \bar{E}_a \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ただし、 E : 相電圧の基本波実効値, ω_s : 基本波の角周波数 ($= 2\omega_r$), \bar{E}_a : a 相電圧に含まれる直流分

(3) 式の右辺第 2 項は、 $\bar{i}_a(t) = \bar{E}_a / r_a$ (A) の電流が固定子 a 相から流れ込み、 b , c 相から $1/2$ ずつ流れ出ることを示唆している。

次に (1) 式マトリクス第 4 行目の式において、 r_{kq} を無視し整理すると次式となる。

$$\begin{aligned} & d\{L_{kq}i_{kq}(t)\}/dt \\ & = d[-M_{sr}\{\cos \theta_r i_a(t) + \cos(\theta_r - 2\pi/3)i_b(t) \\ & \quad + \cos(\theta_r + 2\pi/3)i_c(t)\}]/dt \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式の左辺 $L_{kq}i_{kq}(t)$ は回転子電流によって作られる回転子巻線鎖交磁束数を表し、右辺の [] 内は、固定子各相巻線電流により作られ回転子巻線に鎖交する磁束を表す。回転子巻線電流は交流分のみを含むことから次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} & L_{kq}i_{kq}(t) \\ & = -M_{sr}\{\cos \theta_r i_a(t) + \cos(\theta_r - 2\pi/3)i_b(t) \\ & \quad + \cos(\theta_r + 2\pi/3)i_c(t)\} \end{aligned} \quad (5)$$

(1) 式の第 1 行目～3 行目の式において全ての巻線抵抗を無視し、かつ (5) 式と固定子巻線電流の総和は 0 の条件を用い、更に相電圧の交流分のみに着目して線間電圧の電圧方程式を求めれば次式となる。

$$\begin{aligned} & \sqrt{6} E \begin{bmatrix} \cos(\omega_s t - \pi/3) \\ \cos(\omega_s t - \pi) \\ \cos(\omega_s t + \pi/3) \end{bmatrix} \\ & = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} a(t) & -b(t) & 0 \\ 0 & b(t) & -c(t) \\ -a(t) & 0 & c(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、

$$\begin{aligned} a(t) & = (L_d + L_q')/2 - (L_d + L_q') \cos 2\theta_r \\ b(t) & = (L_d + L_q')/2 - (L_d + L_q') \cos(2\theta_r + 2\pi/3) \\ c(t) & = (L_d + L_q')/2 - (L_d + L_q') \cos(2\theta_r - 2\pi/3) \\ L_q' & = \sigma L_q \end{aligned}$$

(6) 式の両辺を積分し、再度固定子巻線電流の総和は 0 の条件を用いると、固定子各相巻線の電流解が次のように求まる。

$$\begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2} E}{2\omega_s L_d L_q'} \begin{bmatrix} (L_d + L_q') \cos \omega_s t + (L_d - L_q') \cos 2\delta_I \\ (L_d + L_q') \cos(\omega_s t - 2\pi/3) + (L_d - L_q') \cos(2\delta_I - 2\pi/3) \\ (L_d + L_q') \cos(\omega_s t + 2\pi/3) + (L_d - L_q') \cos(2\delta_I + 2\pi/3) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{L_d-L_q'}{3\omega_s L_d L_q'} \begin{bmatrix} \cos(\omega_s t+2\delta_1-2\pi/3)\bar{E}_{ab}-\cos(\omega_s t+2\delta_1+2\pi/3)\bar{E}_{ca} \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1)\bar{E}_{bc}-\cos(\omega_s t+2\delta_1-2\pi/3)\bar{E}_{ab} \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1+2\pi/3)\bar{E}_{ca}-\cos(\omega_s t+2\delta_1)\bar{E}_{bc} \end{bmatrix} \\
& + \frac{L_d+L_q'}{6\omega_s L_d L_q'} \begin{bmatrix} \bar{E}_{ab}-\bar{E}_{ca} \\ \bar{E}_{bc}-\bar{E}_{ab} \\ \bar{E}_{ca}-\bar{E}_{bc} \end{bmatrix} \quad (7)
\end{aligned}$$

(7) 式において t を含まない項は固定子各相電流の直流分であることに着目し、この段階で相電圧の直流分を考慮すれば、積分定数 \bar{E}_{ab} , \bar{E}_{bc} , \bar{E}_{ca} が求まり、各巻線電流の近似式として次式を得る。

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = -\frac{2\sqrt{2}E}{\omega_s(L_d+L_q')} \begin{bmatrix} \cos \omega_s t \\ \cos(\omega_s t-2\pi/3) \\ \cos(\omega_s t+2\pi/3) \end{bmatrix} \\
& + \bar{i}_a \frac{L_d-L_q'}{L_d+L_q'} \begin{bmatrix} \cos(\omega_s t+2\delta_1) \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1-2\pi/3) \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1-4\pi/3) \end{bmatrix} + \bar{i}_a \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{bmatrix} \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
i_{kq} = & \frac{3M_{sr}}{L_d+L_q'} \left\{ \frac{\sqrt{2}E}{\omega_s L_{kq}} \cos(\omega_s t/2-\delta_1) \right. \\
& \left. - \bar{i}_a \frac{L_d}{L_{kq}} \cos(\omega_s t/2+\delta_1) \right\} \quad (9)
\end{aligned}$$

以上により、平均トルク T の理論近似式は次のようになる。

$$T = 3\sqrt{2} p_a \bar{i}_a \frac{E(L_d-L_q')}{\omega_s(L_d+L_q')} \sin 2\delta \quad (10)$$

ここに、 p_a : 極対数、 $\delta = -\delta_1$

4.2 q 軸制動巻線なし突極回転子 (リラクタンス形)

回転子に q 軸制動巻線を施さない場合、 $i_{kq}=0$ で (1) 式の $[e]$, $[i]$, $[r]$, $[L]$ は以下ようになる。

$$[e] = \begin{bmatrix} e_a(t) \\ e_b(t) \\ e_c(t) \end{bmatrix} \quad [i] = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \quad [r] = \begin{bmatrix} r_a & 0 & 0 \\ 0 & r_b & 0 \\ 0 & 0 & r_c \end{bmatrix}$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_0-L_2 \cos 2\theta_r & -L_0/2-L_2 \cos(2\theta_r-2\pi/3) \\ -L_0/2-L_2 \cos(2\theta_r-2\pi/3) & L_0-L_2 \cos(2\theta_r+2\pi/3) \\ -L_0/2-L_2 \cos(2\theta_r+2\pi/3) & -L_0/2-L_2 \cos 2\theta_r \end{bmatrix} *$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} -L_0/2-L_2 \cos(2\theta_r+2\pi/3) \\ -L_0/2-L_2 \cos 2\theta_r \\ L_0-L_2 \cos(2\theta_r-2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (11)
\end{aligned}$$

q 軸制動巻線を有する場合と同じ手法で、固定子巻線電流解および平均トルクの式を求めると結果は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = -\frac{2\sqrt{2}E}{\omega_s(L_d+L_q')} \begin{bmatrix} \cos \omega_s t \\ \cos(\omega_s t-2\pi/3) \\ \cos(\omega_s t+2\pi/3) \end{bmatrix} \\
& + \bar{i}_a \frac{L_d-L_q'}{L_d+L_q'} \begin{bmatrix} \cos(\omega_s t+2\delta_1) \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1-2\pi/3) \\ \cos(\omega_s t+2\delta_1-4\pi/3) \end{bmatrix} + \bar{i}_a \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{bmatrix} \quad (12)
\end{aligned}$$

$$T = 3\sqrt{2} p_a \bar{i}_a \frac{E(L_d-L_q')}{\omega_s(L_d+L_q')} \sin 2\delta \quad (13)$$

5. 電流解の検証 (q 軸制動巻線付回転子)

図 6 (a) に (8), (9) 式より計算した波形を示す。また同 (b) 図にはオシログラムを示す。(a), (b) 図いずれの場合も運転条件は同じで、以下の通りである。

$$\begin{aligned}
E_d &= 80\text{V}, \quad \alpha = 0.7, \quad E = 19.8\text{V}, \quad \bar{i}_a = 6\text{A}, \\
\delta &= 22.5^\circ \quad (\gamma_0 = 45^\circ), \\
\omega_s &= 398\text{rad/s} \quad (f_s = 63\text{Hz}, \quad n = 950\text{rpm})
\end{aligned}$$

(a), (b) を比較すると、解析でインバータ出力電圧に含まれる高調波を無視したため計算波形にもそれが現れていないものの、その他に関しては良く一致しており、円筒形の場合と同様に定量的にも定性的にも本研究で導出した緒近似式の妥当性が明らかになった。

6. 静特性の比較

本節では、前報⁸⁾ および本論文の前節で求めた近似理論式を基に、回転子構造が次の場合における諸特性を計算し比較を行う。

- (a) q 軸制動巻線付円筒形 (以下円筒形と略記)
- (b) q 軸制動巻線付突極形 (以下突極形と略記)
- (c) q 軸制動巻線なし突極形 (以下リラクタンス形と略記)

計算には表 1 の各電動機定数を用い、(ただし、リラクタンス形では $L_{kq}=M_{sr}=0$) 特性比較を行なっ

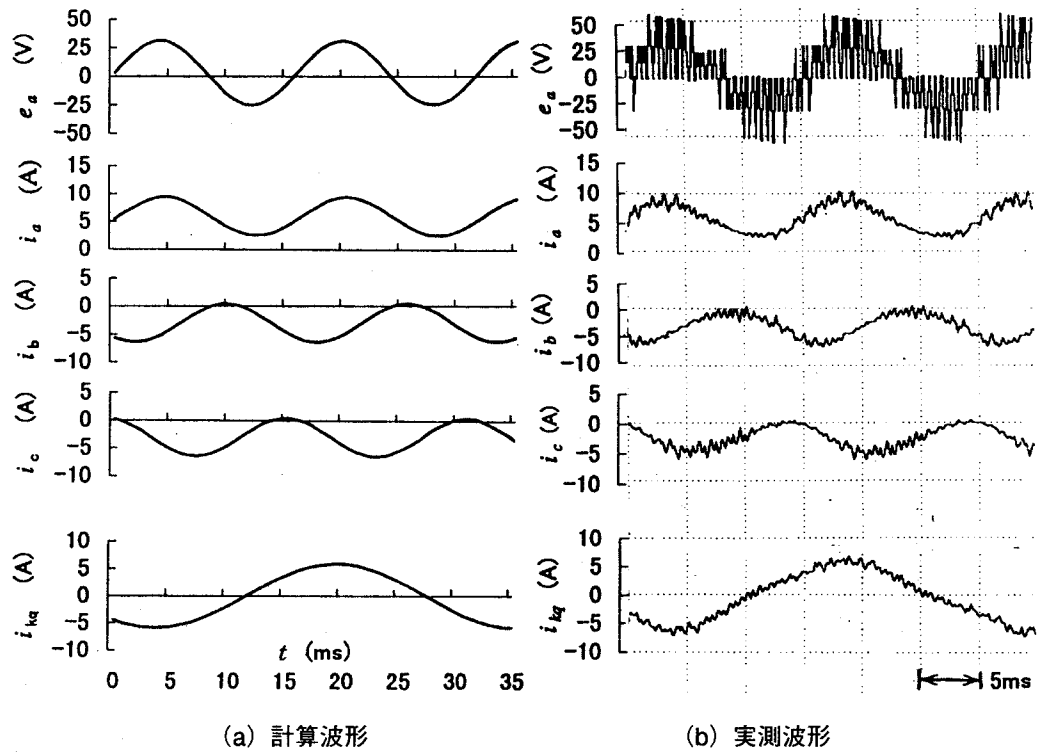


図 6 計算波形と実測波形の比較

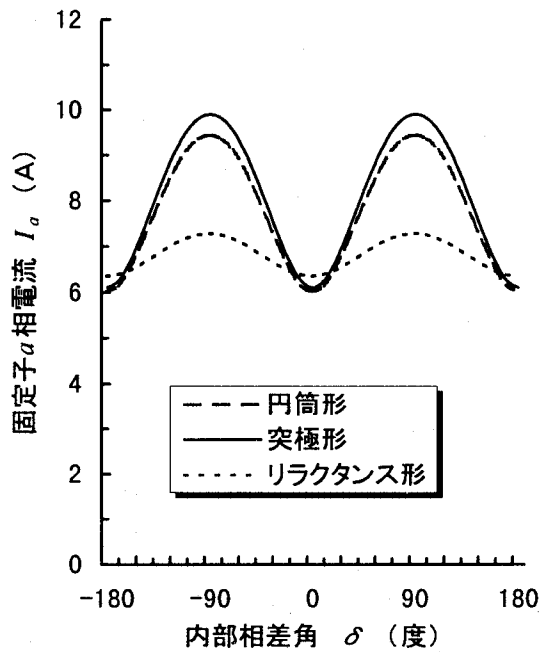


図 7 内部相差角対固定子 a 相電流実効値 (計算値)

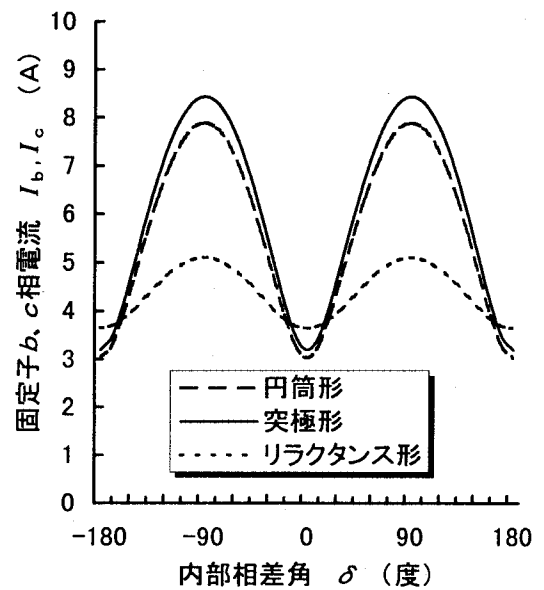


図 8 内部相差角対固定子 b, c 相電流実効値 (計算値)

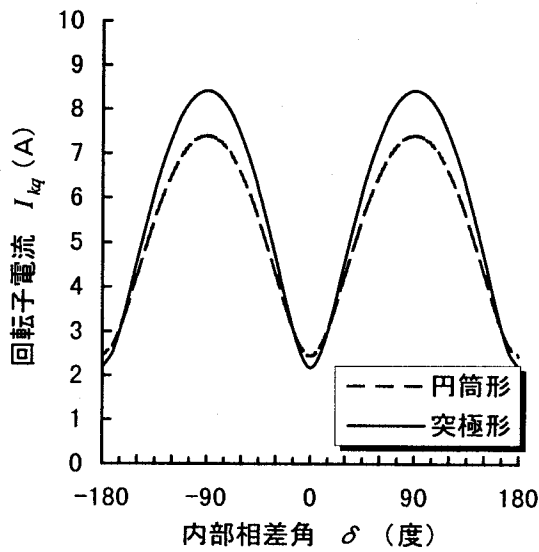


図9 内部相差角対回転子電流実効値 (計算値)

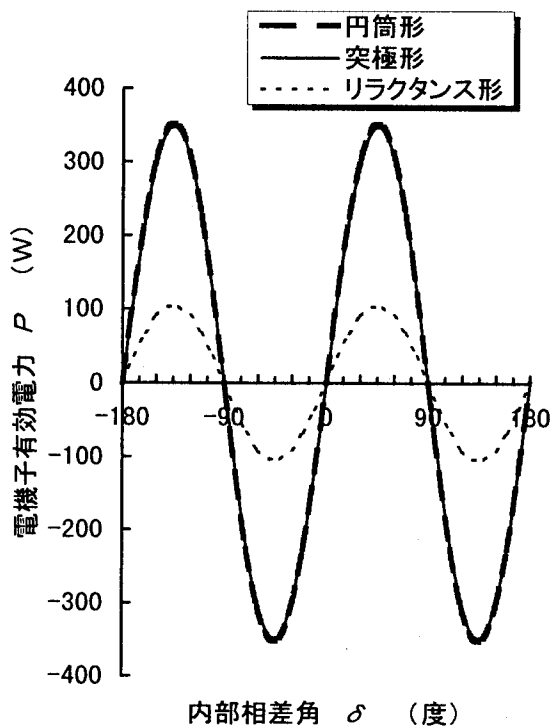


図10 内部相差角対電機子有効電力 (計算値)

た。

図7~10に、電動機供給相電圧 E 、その角周波数 ω_s 、および固定子 a 相電流直流分 \bar{i}_a が前報⁸⁾での電流波形計算時と同じ条件 ($E = 34.8V$, $\omega_s = 427rad/s$ (1020rpm), $\bar{i}_a = 6A$) のもとで、内部相差角 δ を変えて固定子・回転子電流実効値 (リラクタンス形は固定子電流のみ) と電機子有効電力を計算した結果を示す。計算結果から、主要寸法が同じ場合には、突極形にすることにより磁気装荷と電

気装荷を減らしても電流の大きさや出力に殆ど差はないことが明らかになった。ただし、当初の予想に反して突極形での出力の増加は認められない。これは、 q 軸方向部分の鉄心の除去により固定子と回転子の磁氣的結合が円筒形の場合より弱くなったためである。(表1からも明らかなように、突極形とすることにより円筒形の場合よりも漏れ係数 σ が増加している。) q 軸制動巻線を施さないリラクタンス形では、当然のことながら出力は期待できない。

7. む す び

半速同期機においては q 軸制動巻線電流が巻線と鎖交する磁束を打ち消すように作用するため、回転子を突極構造とすることにより、 q 軸リアクタンスの磁氣的減少にその電氣的減少が相加わって効率よくトルクを発生できる。しかし、固定子内径、エアギャップ長および鉄心積厚が同一の場合においてどの程度その効果が現れるのかは定量的に把握できていなかった。

本論文では、川口らが開発した近似解析手法を用いて諸特性を計算し比較を行った。その結果、突極形とすることによる出力の増加は見込めないが、回転子鉄心の一部を除去して軽量化し、回転子巻線の使用量を半分にしても出力は減少しないことが明らかになった。

最後に、電流波形観測に協力頂いた専攻科学生古賀崇了君に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) C. Shenfer: "Der Synchron-Induktions Motor mit Erregung im Stator" *Electrotechnik und Maschinenbau*, vol.19, pp.345-354, May 1926.
- 2) R.L. Russel and K.H. Norsworthy: "A Stator-fed Half-Speed Synchronous Motor" *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol.104, pp.77-87, Feb. 1957.
- 3) 野中・小山:「サイリスタインバータによる半速同期電動機の運転」電学論 B92, 175-184, (昭47-2)
- 4) 野中・藤井・松本:「電圧形インバータ駆動ブラシレス自励形半速同期電動機の特性解析と運転特性」B102, 297-304, (昭57-5)
- 5) 野中・藤井・川口:「ブラシレス突極自励形半速同期電動機の特性」B104, 841-848, (昭59-12)
- 6) S. Nonaka and T. Kawaguti: "Variable Speed Control of Brushless Half-Speed Synchronous Motor by Voltage Source Inverter" *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.IA-27, pp.545-551, May/June 1991.
- 7) 野中・川口:「可変速ブラシレス倍同期発電機システムの特性」電学論 Vol.109-D, 913-920, (平元-12)
- 8) 川口・平石・寺尾・野中:「半速同期式ブラシレス DC モータの特性」久留米工業高等専門学校紀要第14巻第1号, 11-18, (平成10-9)

一般論文

突極半速同期式ブラシレス DC モータの特性 II

— 動特性の実験的考察 —

川 口 武 実
古 賀 崇 了*Experimental Study on Dynamic Characteristics of
Salient Rotor Half-Speed Brushless DC MotorTakemi KAWAGUCHI
Takanori KOGA*

Kawaguchi gave the mean torque expression of a PWM-VSI-fed half-speed brushless DC motor with salient rotor, and showed that the torque was proportional to the product of the sine of the power angle and dc component of the stator current, in the another paper. However, since the dynamic response of the torque to each variation of the operation angle or dc component of the stator current are a non-linear characteristic with hysteresis effect, the computer simulation is very complicated. In this paper, the experimental results are given and its dynamic characteristics are made clear experimentally.

1. ま え が き

半速同期電動機¹⁻⁶⁾では、固定子回転磁界に静止磁界を重畳することにより、半同期速度で回転する回転子の単相短絡巻線 (q 軸制動巻線) に $1/2$ 周波数の起電力を生じ、 90 度位相遅れの短絡電流による起磁力が巻線軸 (q 軸) に鎖交する磁束を打ち消すように作用するため、 d 、 q 軸の各リラクタンスに差を生じ、リラクタンスモータと同様の原理でトルクを発生する。すなわち、固定子は普通の同期電動機と同じ構造とし、回転子に単相短絡巻線を施すだけで簡単にブラシレス化を達成できる。

以前、著者らは固定子側に接続したインバータをコンバータとして動作させる方式の可変速倍同期発電機システムを提案した⁷⁾。さらに、本発電機の定常特性については、 d - q 理論、状態変数法および計算機シミュレーションにより詳細に明らかにした。シミュレーションの過程において初期値を変更した場合、速度変化が生じないと仮定しても収束するまでに数サイクルに亘る計算時間を要し、また、線間電圧は PWM 変調されたパルス系列から成る波形のため、シミュレーションでは電圧波形入力作業に多大の労力を必要とした。倍同期発電機システムのみならず半速同期式ブラシレス DC モータの場合も

半速同期電動機回転子位置フィードバック方式であり、回転子の瞬時角速度変動に対し固定子電圧時間軸の伸縮 (過渡周波数変動) が連動して起こるため、電圧方程式 (4 元連立微分方程式) と電動機軸まわりの慣性モーメントや粘性摩擦係数を考慮した運動方程式を連立して行う動特性の計算機シミュレーションは極めて煩雑となる。

一方、厳密な数学モデルを用いるまでもなく、速度制御系においてあらゆる電動機はおよそ近似的に一次遅れ要素とみなすことができる。動特性がヒステリシス現象を呈し非線形性が顕著な、ダイオードで短絡した回転子界磁巻線を有するブラシレス全速同期式ブラシレス DC モータの速度制御系において、以前、PI およびファジイコントローラを採用して 4 象限運転を行ったところ、およそ所期の結果が得られている⁸⁾⁹⁾。

本論文では、半速同期式ブラシレス DC モータに関して、別報で導出した平均トルク式¹⁰⁾ から速度制御系における操作量をいくつか推定し、制御システムを構築してその動特性を実験的に明らかにする。

2. システム構成とインバータのスイッチング制御

図 1 にシステム構成図を示す (各構成要素の説明は別報¹⁰⁾ 参照)。マイコン駆動ソフトは C 言語で

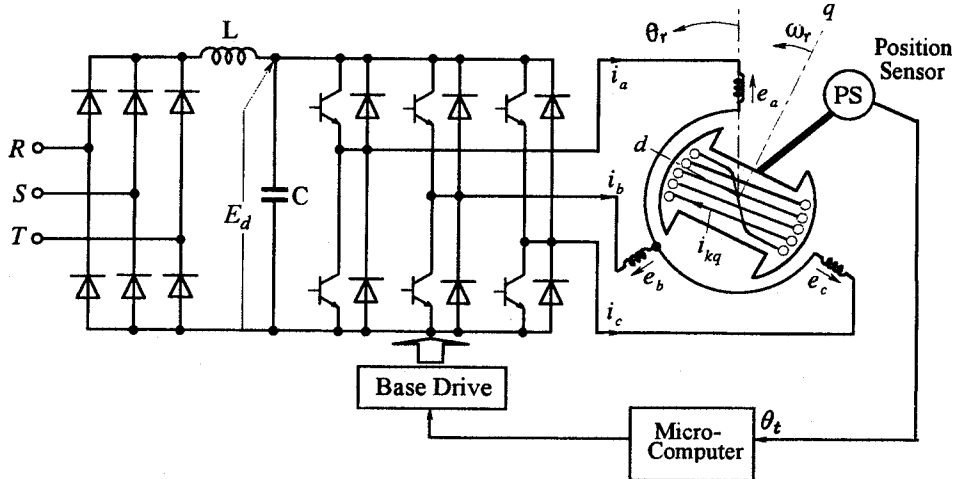


図 1 半速同期式ブラシレス DC モータの構成

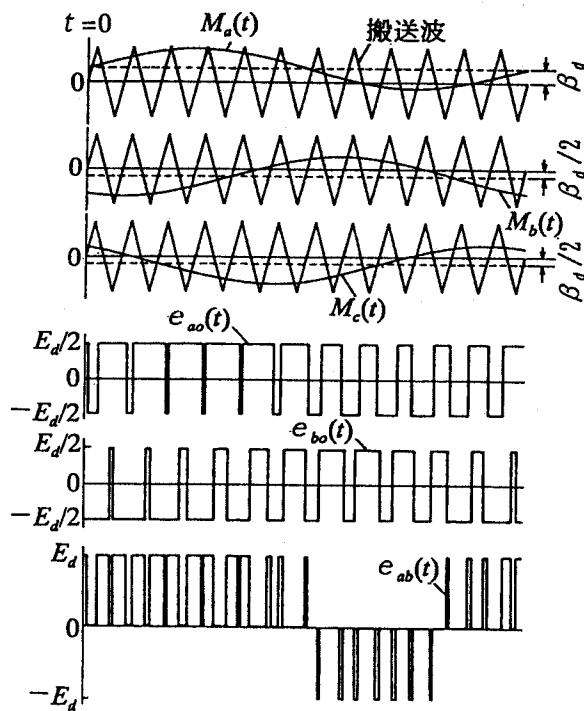


図 2 変調波、搬送波と各電圧波形

記述している。図 2 はインバータのスイッチング時刻を決定するために用いる変調波と三角波の搬送波、仮想中性点に対する a, b 相の各電圧波形および線間電圧波形を示している。変調波には固定子静止磁界をつくるため正弦波に直流分を重畳させる。その結果、線間電圧波形は正負非対称となり、明らかに直流分を含む。

半速同期電動機のトルク発生機構は、前述のリラクタンストルクとは別の考え方で説明できる。すなわち、回転子が半同期速度で回転しているものと

すると、 q 軸制動巻線が固定子静止磁界を切ることにより生じる回転子起磁力が $f/2$ 周波数で制動巻線に鎖交する交番磁束を作る。この磁束は大きさが交番磁束の半分で、正方向に回転する正相分回転磁界と反対方向に回転する逆相分回転磁界に分解できる。回転子が半同期速度で回転しているので、逆相分回転磁界は空間的に静止し、通常の運転では固定子静止磁界を打ち消す方向に生じるため、静止磁界の存在に起因する磁気飽和はさほど問題とならない。他方正相分回転磁界は空間的に固定子回転磁界と同じ速度で回転し、この固定子磁界との間に普通の同期電動機と同じ同期トルクが発生する。

半速同期式ブラシレス DC モータでは、2 極機を例にとれば、回転子 2 回転に要する時間とインバータ出力電圧基本波周期 (= 基本波変調波周期) が一致することにより同期トルクが発生し、固定子回転磁界と回転子の回転速度比は $1 : 0.5$ となる。したがって位置検出器による検出角を 2 倍すれば、その時間的変化率は固定子回転磁界の回転速度と一致し、回転子正相分回転磁界の角速度は普通の同期機の回転子機械角速度と同じと見ることが出来る。すなわち 2 極機では、検出角が θ_i で位相角を考慮しないときの基本波変調波は $\sin 2\theta_i$ と表せる。また、マイコンは一定時間 (実験では 1 ms) 毎に θ_i を取り込み、リアルタイムにインバータ主素子のスイッチング時刻を算出するが、回転子の回転周期とインバータ動作周期が完全に同期するためにはその演算時間を常に考慮しなければならない。そこで、検出値 θ_i に前回割り込み時間中の回転子位置の変化分 (θ_d) を加えたものを現時刻の θ_i と読み替えている。このときマイコンは、演算結果を出力する時

刻の予測回転子位置に基づいて演算を実行することになる。

3. 位置検出器取付角の決定

電動機軸に対する位置検出器軸の円周方向の取り付け角度が明確でない場合には、正常な動作を得るため検出角に適当なオフセットを加える必要が生じ、その大きさの決定には試行錯誤的の繰り返しを要する。そこで、固定子 a 相巻線軸と回転子 q 軸巻線軸を表示しておき、 $t=0$ における両軸の成す角 θ を観測すれば、第 2 節の考察から 2 極機では 2θ (=普通の同期機では実は機械角) は内部相差角 (δ) に一致するが、電動機停止時に両軸を空間的に一致させたときの検出位置角が零となるように位置検出器を電動機軸に取り付けるものとする、オフセットは必要でなくなる。さらに、一般に P 極機 (極対数 $p_a = P/2$) の場合以下の関係が成り立つ。

$$2p_a\theta = p_a\delta \quad (1)$$

また、インバータスイッチング制御に用いる各相の変調波 $M_a(\theta)$, $M_b(\theta)$, $M_c(\theta)$ は一般的に次式のように表せる。

$$\begin{bmatrix} M_a(\theta) \\ M_b(\theta) \\ M_c(\theta) \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} \sin(P\theta_t + \gamma_0) \\ \sin(P\theta_t + \gamma_0 - 2\pi/3) \\ \sin(P\theta_t + \gamma_0 - 4\pi/3) \end{bmatrix} + \beta_d \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 α, β_d : 基本波と直流分の各変調率、 θ_t : 予測回転子位置。

γ_0 は変調波の位相角を決定する電気角であり、設定位相角と呼ぶことにする。さらに次の関係も成り立つ。

$$2p_a\theta = \gamma_0 \quad (3)$$

以上の関係を検証するため、ストロボスコープを用いて実験を行った。図 3 に実験装置の概略を示す。同図の下段に示すように、固定子にはフレーム側面に a 相巻線軸の目印を付け、また角度目盛表示板を取り付ける。電動機軸には q 軸の目印を付けた円盤を取り付ける。またマイコンからは (2) 式第 1 項のインバータ基本波変調波の立ち上がり時 ($t=0$) にパルスを出し、その時刻にストロボスコープを点灯する。パルス発生時刻 (電気角度) は前述の γ_0 と同じ電気角だけ前後に移動する。このとき a 相巻線軸と q 軸の成す機械角 θ と (2) 式基本波の位相シフト角 γ_0 (設定位相角) の関係を測定した結果を図 4 に示す。C 言語プログラムの処理速度がこのシステムではむしろ相対的に遅いために割り込み間隔を余り小さく取れないことが原因でパルス発生時刻に誤差が発生する。したがって測定値にはややバラツキがあるものの両者の関係は直線的と見なすことができ、実験には 4 極機を使用したので (3) 式の関係が成立していることが分かる。以上のよ

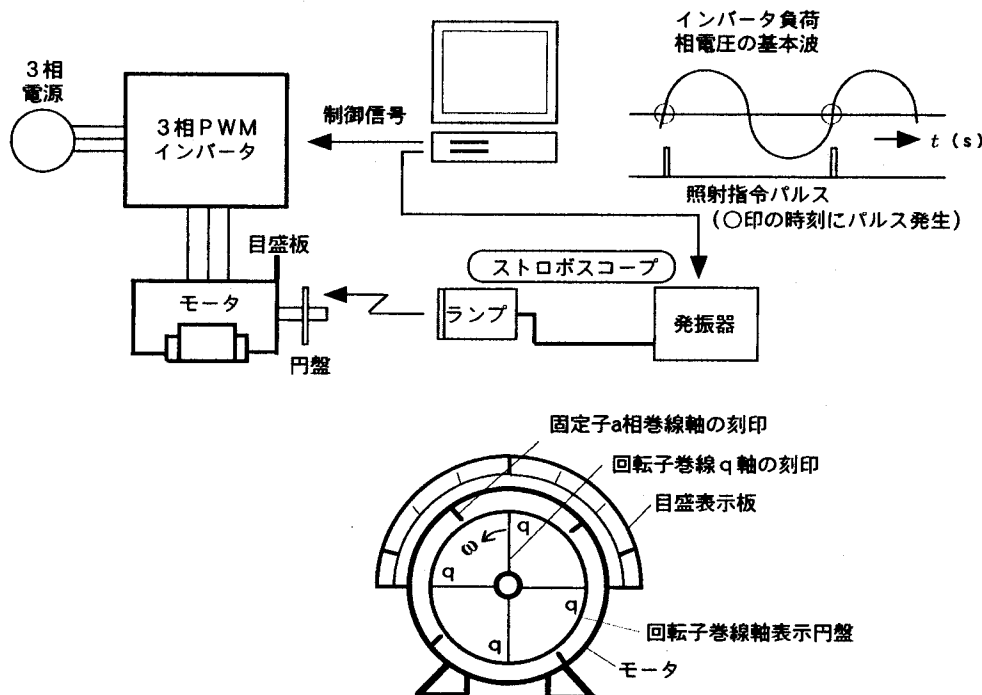


図 3 ストロボスコープによる角変位の測定

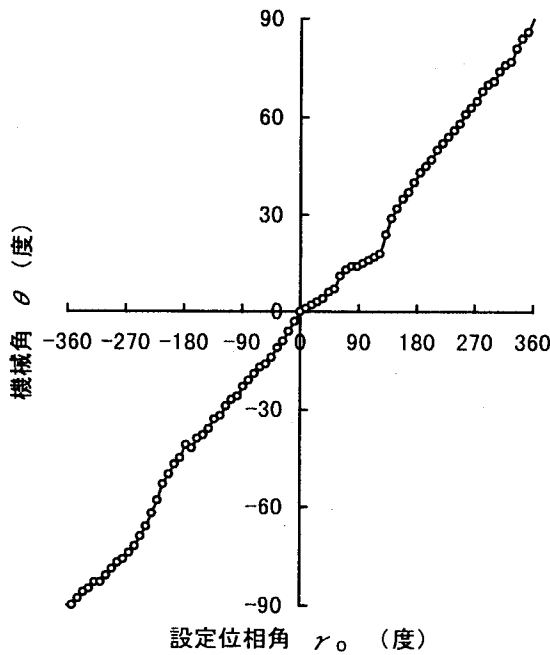
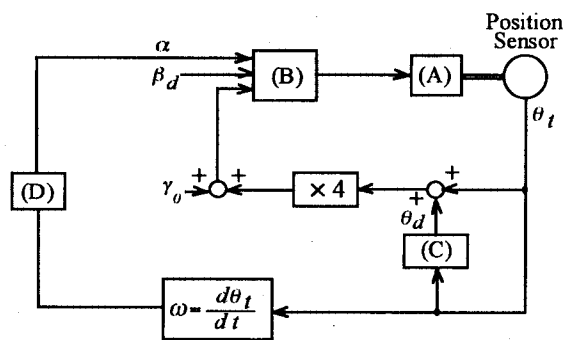


図 4 設定位相角に対する機械角変位の測定結果



- (A) Inv. & Half-speed synchronous motor.
- (B) Calculation of pulsewidth.
- (C) Calculation of the variation of θ at one interruption period.
- (D) Determination of α for constant V/f .

図 5 実験機のシステム構成

うに、固定子 a 相巻線軸と回転子巻線 q 軸を一致させたときに検出器指示値が 0 を示すように電動機軸に位置検出器を取り付けておけば、基本波変調波位相角に加えるオフセットは必要でなく、また、実験から、機械角、内部相差角および設定位相角の関係も明確になった。なお、実験は図 5 の構成で行った。(A) と Position Sensor 以外はソフトウェア構成としている。始動には他制・自制切替始動法を適用した。

4. 速度制御に関する実験

本研究で使用した実験機は、1.5kW、110V、10.4 A、4 極巻線形三相誘導電動機を別報¹⁰⁾で述べたよ

うに突極半速同期電動機に改造したもので、回転子電流を観測するためスリップリングを介して q 軸巻線 2 線間を短絡している。

4 極突極半速同期式ブラシレス DC モータの平均トルク T の近似理論式は次のように書ける¹⁰⁾。

$$T = 6\sqrt{2} \bar{i}_a \frac{E(L_d - L_q')}{\omega_s(L_d + L_q')} \sin \gamma_0 \quad (4)$$

ここに、 E : 相電圧基本波実効値、 ω_s : 相電圧基本波角周波数、 \bar{i}_a : 固定子 a 相電流直流分、 $L_d = (3/2)(L_0 + L_2)$ 、 $L_q = (3/2)(L_0 - L_2)$ 、 L_0 : 固定子主自己インダクタンスの平均値、 L_2 : 固定子主自己インダクタンスの変動の振幅、 L_{kq} : 回転子 (q 軸) 巻線の主自己インダクタンス、 M_{sr} : 固定子および回転子巻線間の相互インダクタンスの最大値、 $L_q' : \sigma L_q$ 、 $\sigma = 1 - (3/2)M_{sr}^2 / (L_q L_{kq})$: 漏れ係数、 γ_0 : 設定位相角

この式で E/ω_s は電動機運転の際に一定に与え (V/f 一定制御)、他は定数であるから、トルク制御の際の操作量として \bar{i}_a と γ_0 を採用すればよいことが推定できる。

4.1 操作量調節範囲の決定

4.1.1 設定位相角 γ_0

図 6 は、 γ_0 をいろいろ変えて回転速度 n と電動機入力電力 P を測定した結果を示す。インバータ入力電圧 E_d および固定子 a 相電流直流分 \bar{i}_a の大きさはそれぞれ 80V、6A 一定とした。正転の場合を例にとると、 γ_0 が 30° 以下では固定子静止磁界の打ち消し効果が弱まり磁気飽和の影響を受けて入力電力が増加し、また 150° 以上は不安定領域であることが分かる。

4.1.2 固定子 a 相電流直流分 \bar{i}_a

図 7 は、 γ_0 をパラメータとして \bar{i}_a を変えて回転速度 n を測定した結果を示す。 γ_0 が 0° と 30° では、4.1.1 の場合と同様に磁気飽和の影響を受け運転が不安定となった。その他の場合では、 \bar{i}_a が 0 から 7.5A 付近まではほぼ直線的に速度が増加する。 E_d は 80V 一定としたが、 γ_0 を 83° に固定して E_d を変えた場合も図 8 に示すように同じような結果が得られた。

以上の実験から、安定領域で運転するための操作量の調節範囲が明らかとなった。

4.2 動特性

操作量 γ_0 、 \bar{i}_a の調節範囲を静特性の実験結果か

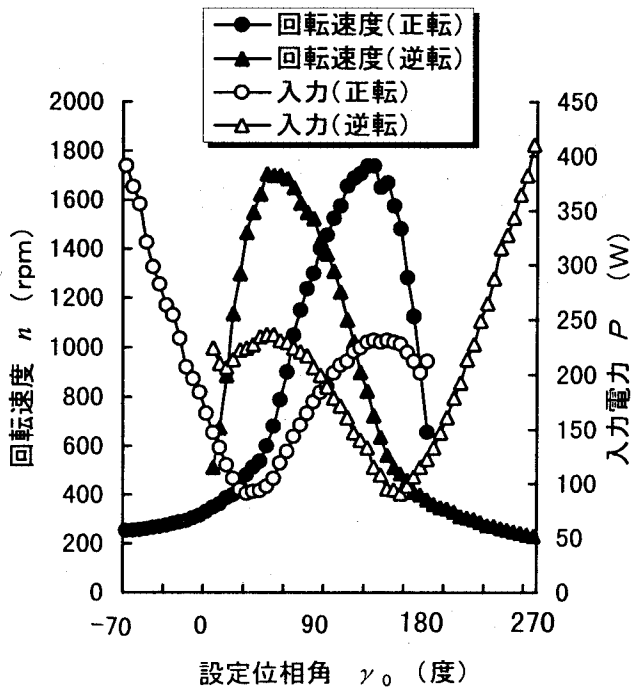


図 6 設定位相角に対する回転速度と入力電力の測定結果

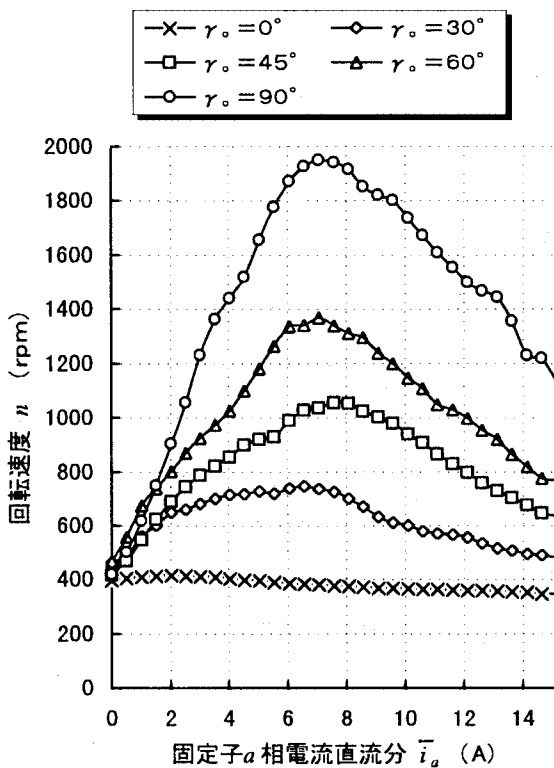


図 7 固定子 a 相電流直流分に対する回転速度の測定結果 (パラメータ: 設定位相角)

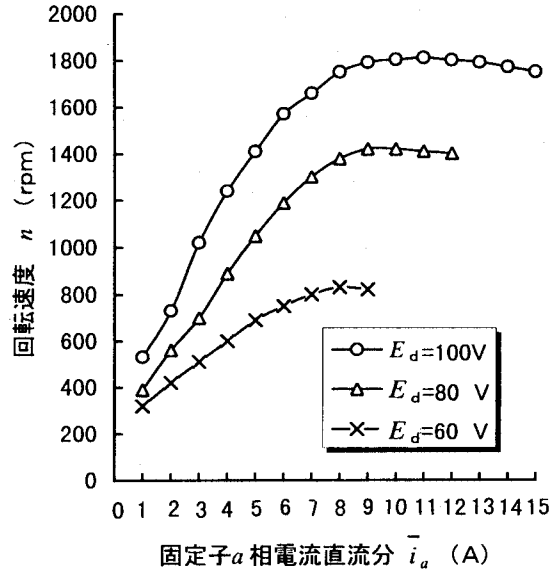


図 8 固定子 a 相電流直流分に対する回転速度の測定結果 (パラメータ: インバータ入力電圧)

ら推定したが、両操作量を急激に減少させた場合ヒステリシス現象を呈しそれらが負の値を取らなくてもマイナトルクを発生する事が実験的に明らかになっている。これは操作量の急激な減少に対し、固定子および回転子電流の位相変化が瞬時に追従できず、過渡的に発電機動作領域に入るためと考えられる。このように動特性は非線形性が強く制御系コントローラの設計が難しいが、単一操作量の増減のみで正負のトルクを発生するので精密な速度制御を必要としない用途ではシステム構成は簡単となる。

図 9 は、固定子 a 相電流直流分 $\bar{i}_a = 6A$ 一定とし、設定位相角 γ_0 を 45° と 90° の間でステップ状に増減した場合の、固定子と回転子電流変化の測定結果を示す。過渡現象はほぼ 1 ~ 2 サイクルの間に終了しており、三相誘導電動機のベクトル制御と滑り周波数制御の中間程度の良好な追従性を示すことが明らかになった。図 10 は、 $\gamma_0 = 105^\circ$ 一定とし、固定子 a 相電流直流分 \bar{i}_a を 3A と 6A の間で図 9 同様にステップ状に変えた場合で、設定位相角を操作量とする場合とほぼ同等の良好な追従性を示す事が明らかになった。なお、4.1.1 からここまでの実験は図 5 の構成で行った。

次に、速度制御実験に用いたシステム構成図を図 11 と図 12 に示す。図 11 は、固定子電流直流分を一定に保持し、設定位相角を操作量とする場合、図 12 は設定位相角を固定し、固定子電流直流分を操作量とする場合を示している。いずれにおいても実験では

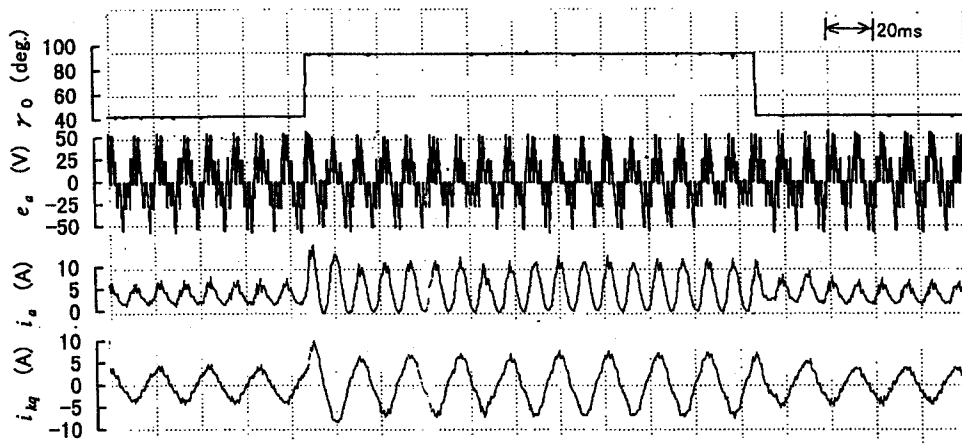


図9 設定位相角変化に対する電流のステップ応答

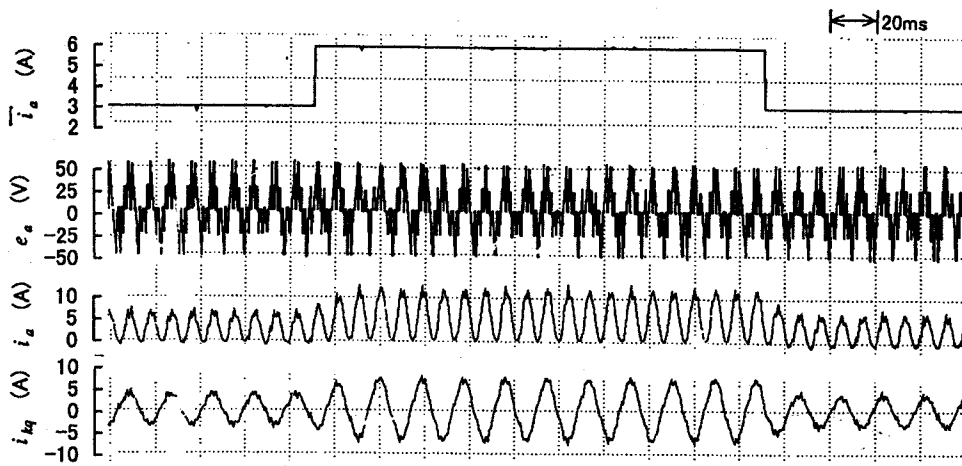
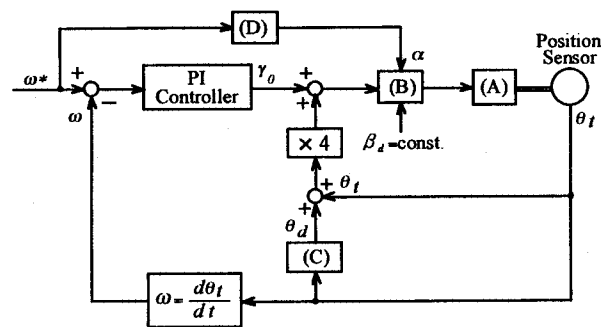


図10 固定子a相電流直流分変化に対する電流のステップ応答

インバータ入力電圧を80V一定とした。速度のサンプリングは10ms間隔で行い、PIコントローラの比例・積分ゲインは限界感度法を参考に実験的に求めた。また、操作量の調節範囲は前述の静特性実験結果を参考に決定した。

図13は、固定子a相電流直流分 $\bar{i}_a = 5A$ 一定とし、操作量 γ_0 が取り得る範囲を $17.5^\circ \sim 105^\circ$ にした場合の速度のステップ応答を示す。操作量の変化の記録から、加速と減速で様な正負トルクは得られず、動特性が強い非線形を示していることが分かる。速度応答は三相誘導電動機のすべり周波数制御程度となっている。図14は、設定位相角 $\gamma_0 = 105^\circ$ 一定とし、固定子a相電流直流分 \bar{i}_a の調節範囲を0A~6Aとした場合のステップ応答を示す。この場合も同様に動特性が非線形性を示すが、速度応答は良好である。ただし、固定子・回転子電流に瞬間的にスパイク状の電流が発生しているのが認められ、場合によ



(A) Inv. & Half-speed synchronous motor.
 (B) Calculation of pulsewidth.
 (C) Calculation of the variation of θ at one interruption period.
 (D) Determination of α for constant V/f .

図11 デジタル制御系の構成 (操作量=設定位相角)

ては電流リミッタが動作することにもなる点に注意が必要となる。

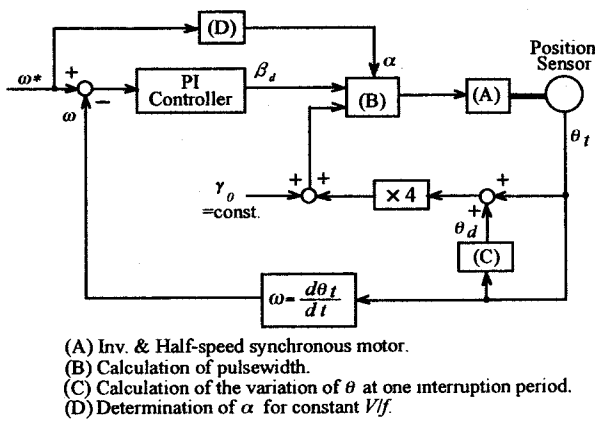


図12 デジタル制御系の構成 (操作量=固定子電流直流通分)

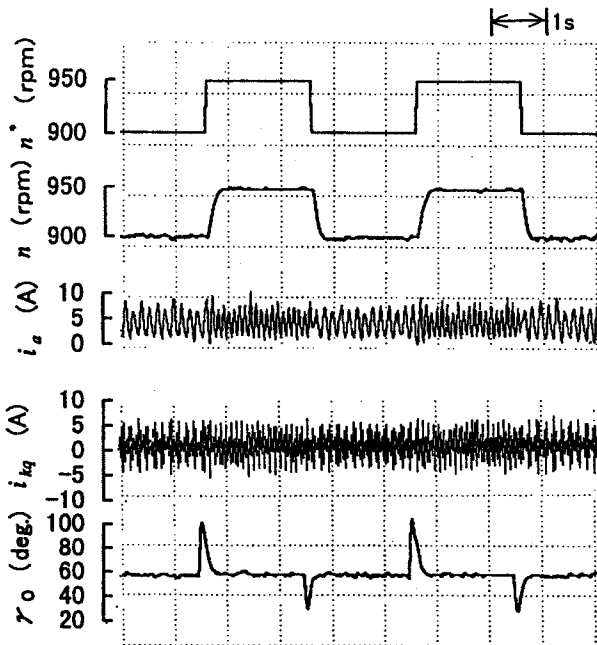


図13 速度ステップ応答 (操作量=設定位相角)

5. む す び

本研究で明らかになった点は以下の通りである。

- 1) 非通電時に回転子を回転させてその q 軸巻線軸を固定子 a 相巻線軸に一致させたとき、検出角が零となるように位置検出器を電動機軸に取付ければ、面倒なオフセット調整作業は省略できる。
- 2) 半速同期機では、極対数を p_a 、回転子回転角を θ とすると、 $p_a\theta$ が普通の同期機の機械角に相当する。
- 3) 速度制御系操作量のステップ状変化に対する固定子・回転子電流の応答はベクトル制御とすべ

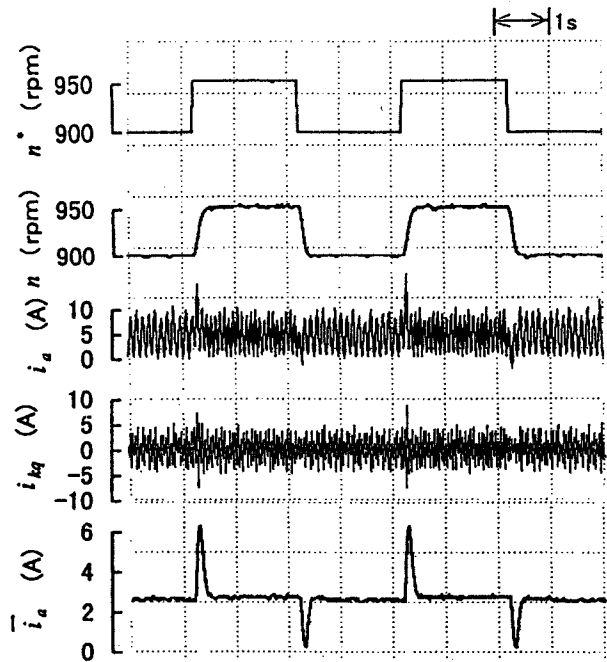


図14 速度ステップ応答 (操作量=固定子電流直流通分)

り周波数制御の中間に位置し追随性は良好である。

4) 速度制御の際の速度ステップ応答はすべり周波数制御程度に劣化したが、これは無負荷での実験のためインバータ入力電圧を下げて実験したことによるものである。突極形回転子とすることにより慣性モーメントの減少効果も加わるので速度追随性は円筒形よりも良好となる。

5) 速度制御系操作量のステップ状変化に対し発生する正負トルクの大きさは非対象となり、コントローラ的设计が単純ではなくなるが、正領域での単一操作量の増減のみで正負トルクを発生することは利点といえる。

本機は、普通他制・自制切替え始動を必要とするため必ずしもメカトロニクス分野への応用には向いていない。しかし、正転動作のみでよいが比較的速い速度応答を必要とするような用途には適用の可能性があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) C. Shenfer: "Der Synchron-Induktions Motor mit Erregung im Stator" *Electrotechnik und Maschinenbau*, vol.19, pp.345-354, May 1926.
- 2) R.L. Russel and K.H. Norsworthy: "A Stator-fed Half-Speed Synchronous Motor" *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol.104, pp.77-87, Feb. 1957.
- 3) 野中・小山:「サイリスタインバータによる半速同期電動機の運転」*電学論 B92*, 175-184, (昭47-2)
- 4) 野中・藤井・松本:「電圧形インバータ駆動ブラシレス

- 自励形半速同期電動機の特性解析と運転特性」B102, 297-304, (昭57-5)
- 5) 野中・藤井・川口：「ブラシレス突極自励形半速同期電動機の特性」B104, 841-848, (昭59-12)
- 6) S. Nonaka and T. Kawaguti: "Variable Speed Control of Brushless Half-Speed Synchronous Motor by Voltage Source Inverter" *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.IA-27, pp.545-551, May/June 1991.
- 7) 野中・川口：「可変速ブラシレス倍同期発電機システムの特性」電学論 Vol.109-D, 913-920, (平元-12)
- 8) 川口・野中：「自励形ブラシレスモータデジタル駆動系コントローラの検討」久留米工業高等専門学校紀要第11巻1号, 17-23, (平7-9)
- 9) S. Nonaka and T. Kawaguti: "Effective Use of Brushless Self-Excited-Type Three-Phase synchronous motor for Conveyance Device" *Proceedings of International Conference on Electrical Machines and Applications*, Sept. 1996.
- 10) 川口：「突極半速同期式ブラシレス DC モータの特性 I —近似解析による静特性の考察—」久留米工業高等専門学校紀要第17巻2号, (平14-3)
-

一般論文

加熱殺菌装置の制御用数学モデルの構築

江 崎 昇 二
松 永 崇
多 田 宗 儀*

Construction of a Mathematical Model for Control System of Sterilization Apparatus

Shoji ESAKI
Takashi MATSUNAGA
Muneyoshi TADA

1. はじめに

既存の加熱殺菌装置の温度・流量制御系は、経験的に構築されたものであり、処理液の種類あるいは運転条件によって、温度・流量コントローラをその都度変更する必要がある。また、運転開始から定常運転状態になるまで温度・流量制御は行われておらず、その間の未殺菌処理液を廃棄しなければならないという現状がある。したがって、加熱殺菌装置の制御用数学モデルを構築し、シミュレーションが実行できるようになれば、新たな加熱殺菌装置の開発、コントローラの調整作業軽減および未殺菌処理液の廃棄量低減などが可能となると考えられる。

以上の観点から、本研究は、市販のジュール加熱殺菌装置¹⁾を参考にして、一般的な加熱殺菌装置に適用できる制御用数学モデルを構築し、シミュレーションを行ったものである。

2. 対象とする加熱殺菌装置

一般の加熱殺菌装置は、処理液の温度・流量制御の観点から、構成要素を、処理液の搬送部、加熱部および冷却部に分けることができる。

既存の加熱殺菌装置の搬送部は、ポンプにより搬送する方式と圧力差により搬送する方式がある。これらの方式は、搬送部の時定数が、加熱・冷却部の時定数に比べて非常に小さいため、いずれの方式も比例要素として取り扱うことができる。すなわち、両搬送方式は、同じ数学モデルとして考えてよい。

加熱部は、直接通電加熱方式（ジュール加熱式）と熱媒体による熱交換方式とがある。また、冷却部

は、冷熱媒体による熱交換器を用いる方式がほとんどである。一方、熱交換器の数学モデルは、加熱・冷却いずれに対しても同じモデルを用いることができる。したがって、加熱部にジュール加熱を用いる殺菌装置を対象とした数学モデルを導出すれば、加熱部が熱交換器である方式にモデルを変更することは容易である。

以上の観点から、本研究では、(株)イズミフードマシナリが市販しているジュール加熱味噌殺菌装置（味噌殺菌装置 JT100-06）を対象とした制御用数学モデルを導出する。図 1 にその構成概略図を示す。

味噌タンクに入れられた処理液である味噌（約 15℃）は、送液ポンプにより 280kg/hr の質量流量で配管内に搬送される。その後、加熱用ジュールヒータで 80℃ に加熱され、殺菌のための一定時間を確保するためにホールディングチューブに送られる。殺菌された味噌は、冷却用熱交換器により 35℃ に冷却され、製品として殺菌処理味噌タンクに送り込まれ

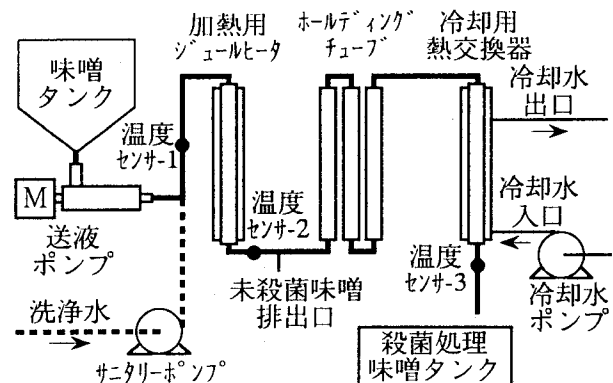


図 1 ジュール加熱味噌殺菌装置の構成概略図

る。この装置における制御量は、味噌の搬送速度、ジュール加熱後温度および冷却用熱交換器後温度である。加熱前後および冷却後の味噌の温度は、それぞれ温度センサー 1, 2, 3 により検出される。

この装置の運転操作手順の概略は下記のとおりである。

- (1) 処理する味噌を味噌タンクに入れる。
- (2) 送液ポンプを起動し、味噌を配管内に送る。
- (3) 加熱部出口より味噌が出てきたのを確認し、加熱開始。ただし、加熱部出口温度が75℃になるまでは一定入力電圧とし、温度制御はしない。
- (4) 加熱部出口温度が75℃になったところで、温度制御開始。目標温度80℃±3℃になったらホールディングチューブに味噌を搬送する。それまでに搬送された味噌は未殺菌味噌排出口より排出する。
- (5) 殺菌処理された味噌が冷却部前部にきたら、冷却部運転開始。
- (6) 定常運転。
- (7) 処理する味噌が無くなったら、送液ポンプを止め、サニタリーポンプを起動し、洗浄水を配管内に送る。
- (8) 洗浄水が加熱部前部にきたら、加熱停止。
- (9) 洗浄水が冷却部前部にきたら、冷却停止。

上述の運転操作手順 (3) において温度制御を行っていない理由は、現状の温度制御装置が経験的に作られたものであるため、味噌の温度が80℃から大きく外れたときに、制御性能が著しく悪化するからである。したがって、この装置の運動方程式を導出し、運転開始から定常状態に移るまでの間を温度制御可能にすれば、未殺菌味噌の量を低減できる。また、異なる処理液に対する温度制御系や異なる加熱殺菌装置の温度・流量制御系についても事前に検討することが可能となる。

3. 非線形運動方程式

3.1 モデル化

加熱殺菌装置の温度・流量制御系設計に用いる数学モデルを導出するために、図1に示すジュール加熱味噌殺菌装置を、図2のようにモデル化する。

図2に示すように、送液ポンプ、加熱用ジュールヒータおよび冷却水ポンプは、D/Aボード(0~10Vに設定)から指令電圧が入力されるドライバにより駆動される。図中のそれぞれの記号は下記のとおりである。ただし、以降に出てくる各パラメータは、図1の実機から求めたものではなく、様々な仮定において推定したものである。

- $e(t)$: 送液ポンプドライバ入力電圧 [V]
- $e_h(t)$: ジュールヒータドライバ入力電圧 [V]
- $e_c(t)$: 冷却水ポンプドライバ入力電圧 [V]
- $v(t)$: 味噌搬送速度 [m/s]
- $v_c(t)$: 冷却水速度 [m/s]
- $T_3(t)$: 冷却後味噌温度 [℃]
- $T_2(t)$: 加熱後味噌温度 [℃]
- T_1 : 処理前味噌温度 (15℃)
- T_c : 冷却水温度 (7℃)

さらに、定常運転状態における平衡点の値は、記号に0の添字を付け、それぞれ次のように置く。

$$e_0=5.0, e_{h0}=5.0, e_{c0}=5.0, \\ v_0=0.1, v_{c0}=2.0, T_{30}=35, T_{20}=80$$

また、定常運転状態からの変動量は、変数に Δ を付け下記のように表す。

$$\Delta e(t) = e(t) - e_0, \Delta e_h(t) = e_h(t) - e_{h0} \\ \Delta e_c(t) = e_c(t) - e_{c0}, \Delta v(t) = v(t) - v_0 \\ \Delta v_c(t) = v_c(t) - v_{c0}, \Delta T_3(t) = T_3(t) - T_{30} \\ \Delta T_2(t) = T_2(t) - T_{20}$$

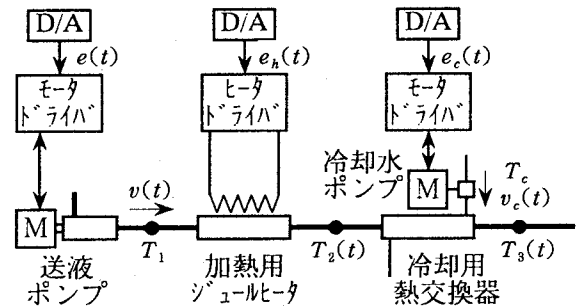


図2 ジュール加熱味噌殺菌装置のモデル化

3.2 搬送部

送液ポンプより送られる味噌搬送速度 $v(t)$ は、ポンプを駆動するモータの回転数に比例する。すなわち、モータの回転数を制御することにより $v(t)$ が調整可能となる。この装置では、モータの回転数制御系は市販のドライバに組み込まれているものを使用している。また一般に、モータの回転数制御系の時定数は、加熱部・冷却部の時定数に比べ、非常に小さい。したがって、モータドライバの入力電圧 $e(t)$ と $v(t)$ は、式 (1) の関係で表すことができる。

$$v(t) = k_1 e(t) \tag{1}$$

ただし、 k_1 は定数である。

3.3 加熱部

ヒータドライバは、入力電圧 $e_h(t)$ から、位相制御マイコンを経由して、トライアックにより加熱量を調整している。そこで、加熱部には、以下の仮定を置く。

- ・加熱後温度 $T_2(t)$ は 2 次遅れ系で近似できる。
 - ・ステップ応答は振動的でないとする。
- すると、運動方程式は式 (2) で与えられる。

$$\begin{aligned} c_{21}^*(t)c_{22}^*(t)\ddot{T}_2(t) \\ + \{c_{21}^*(t) + c_{22}^*(t)\}\dot{T}_2(t) + T_2(t) \\ = k_2^*(t) \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $c_{21}^*(t)$ 、 $c_{22}^*(t)$ は時定数であり $k_2^*(t)$ はゲインである。一般に、これらの各パラメータは非線形関数であり、式 (3) ~ (7) で表されるものとする。詳細については、次章で述べる。

$$c_{21}^*(t) = \sum_{i=0}^3 a_{21i} \left\{ \frac{T_2(t) + T_1}{2} \right\}^i \quad (3)$$

$$c_{22}^*(t) = \sum_{i=0}^3 a_{22i} \left\{ \frac{T_2(t) + T_1}{2} \right\}^i \quad (4)$$

$$k_2^*(t) = k_{2h}^*(t) + \Delta k_2^*(t) \quad (5)$$

$$k_{2h}^*(t) = T_1 + \sum_{i=1}^3 a_{hi} e_h^i(t) \quad (6)$$

$$\Delta k_2^*(t) = \sum_{i=1}^3 b_{2i} \Delta v^i(t) \quad (7)$$

3.4 冷却部

冷却用熱交換器では、 T_c 、 $v_c(t)$ 、 $T_2(t)$ および $v(t)$ により $T_3(t)$ が決まる。このことから、以下の仮定を置く。

- ・冷却後温度 $T_3(t)$ は 2 次遅れ系で近似できる。
- ・ステップ応答は振動的でないとする。
- ・ $v_c(t)$ は $e_c(t)$ に比例する。

すると、運動方程式は式 (8) (9) で与えられる。

$$\begin{aligned} c_{31}^*(t)c_{32}^*(t)\ddot{T}_3(t) + \{c_{31}^*(t) + c_{32}^*(t)\}\dot{T}_3(t) \\ + \{T_3(t) - T_c\} = k_3^*(t)\{T_2(t) - T_c\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$v_c(t) = k_3 e_c(t) \quad (9)$$

ただし、 $c_{31}^*(t)$ 、 $c_{32}^*(t)$ は時定数であり、 $k_3^*(t)$ はゲインである。一般に、これらの各パラメータは非線形関数であり、式 (10) ~ (14) で表されるもの

とする。また、 k_3 は定数である。詳細については、次章で述べる。

$$c_{31}^*(t) = \sum_{i=0}^3 a_{31i} \left\{ \frac{T_2(t) + T_3(t)}{2} \right\}^i \quad (10)$$

$$c_{32}^*(t) = \sum_{i=0}^3 a_{32i} \left\{ \frac{T_2(t) + T_3(t)}{2} \right\}^i \quad (11)$$

$$k_3^*(t) = a_{30} + \Delta k_3^*(t) + \Delta k_{3c}^*(t) \quad (12)$$

$$\Delta k_3^*(t) = \sum_{i=1}^3 b_{3i} \Delta v^i(t) \quad (13)$$

$$\Delta k_{3c}^*(t) = \sum_{i=1}^3 b_{ci} \Delta v_c^i(t) \quad (14)$$

4. 制御用数学モデル

本章では、式 (1) ~ (14) の非線形運動方程式の各パラメータを仮定し、シミュレーションおよび制御系設計に用いる数学モデルを導出する。

4.1 パラメータの仮定

式 (1) の k_1 は、 v_0 および e_0 より、次のように求められる。

$$k_1 = v_0/e_0 = 0.02 \text{ [m/sV]}$$

次に、現状では図 1 の装置に対する特性実験が実施できないため、式 (3) ~ (7) の各パラメータを決めるために次の仮定を置く。図 1 の加熱部は、図 3 に示す温度制御実験装置²⁾の特性と同じモデルで表されるものとする。すなわち、図 3 の実験装置において位相制御マイコンへの入力電圧を $e_h(t)$ とし、熱電対で検出される円筒の温度を $T_2(t)$ とすれば、室温が T_1 に相当し、その運動方程式は、式 (2) ~ (7) で表わされる。そこで、式 (3) ~ (7) の各パラメータを図 3 の装置の様々な温度におけるステップ応答の実験結果を用いて決める。このステップ応答実験結果を、式 (15) の 2 次遅れ系で近似した時の時定数 C_1 および C_2 を図 4 に示す。図中の近似曲線は、各実験点を式 (3)、(4) の 3 次関数で近似したものである。ただし、横軸はステップ応答における平均温度 $\{T_2(\infty) + T_2(0)\}/2$ である。

$$\frac{T_2(s)}{E_h(s)} = \frac{K}{(1+C_1s)(1+C_2s)} \quad (15)$$

すなわち、式 (3)、(4) の各パラメータには、図 4 の近似曲線を用い、以下のように仮定する。

$$a_{210} = 178, a_{211} = -1.1, a_{212} = 3.2 \times 10^{-3},$$

$$a_{213} = -1.8 \times 10^{-6}, a_{220} = 22, a_{221} = 0.35, \\ a_{222} = -0.001, a_{223} = 1.6 \times 10^{-7}$$

式 (6) のパラメータ a_{hi} は、図 3 の実験装置のステップ応答の静特性から決める。図 5 は、様々なステップ入力電圧 $e_h(t) = e_{hs}$ を与えたときの定常温度 $T_2(\infty)$ である。図中の破線は、実験点を 3 次関数で近似したものであり、実線は、それを 3.1 節の定常運転状態の条件に合うように線形変換したものである。すなわち式 (6) の a_{hi} を次のように仮定する。

$$a_{h1} = 0.26, a_{h2} = 4.0, a_{h3} = -0.29$$

式 (7) の b_{2i} は、実験データがないので、図 6 に示す近似曲線で近似できるものと仮定する。この近似曲線は、式 (16) を $-0.05 \leq \Delta v(t) \leq 0.05$ の範囲で式 (7) により近似したものである。すなわち、

$$b_{21} = -630, b_{22} = 8600, b_{23} = -93000$$

ただし、式 (16) は、 $e_h(t) = e_{h0}$ において、 $\Delta v(t) = -v_0$ で $T_2(t) = \infty$ 、 $\Delta v(t) = 0$ で $T_2(t) = T_{20}$ 、 $\Delta v(t) \rightarrow \infty$ で $T_2(t) = T_1$ の条件を満足する関数である。

$$\Delta k_2^*(t) = \frac{(T_{20} - T_1)v_0}{\Delta v(t) + v_0} - (T_{20} - T_1) \quad (16)$$

冷却部の時定数を表す式 (10)、(11) の各パラメータについても実験データがないので、加熱部と同じ値を用いる。すなわち、

$$a_{310} = 178, a_{311} = -1.1, a_{312} = 3.2 \times 10^{-3}, \\ a_{313} = -1.8 \times 10^{-6}, a_{320} = 22, a_{321} = 0.35, \\ a_{322} = -0.001, a_{323} = 1.6 \times 10^{-7}$$

また、式 (12) の a_{30} は定常状態の条件より次のように求められる。

$$a_{30} = (T_{30} - T_c) / (T_{20} - T_c) = 0.38356$$

式 (13) のパラメータ b_{3i} は、図 7 に示す近似曲線で近似できるものと仮定する。この近似曲線は、式 (17) を $-0.1 \leq \Delta v(t) \leq 0.1$ の範囲で式 (13) により近似したものである。すなわち、

$$b_{31} = 3.0, b_{32} = -7.4, b_{33} = 11.8$$

ただし、式 (17) は、 $\Delta v_c(t) = 0$ において、 $\Delta v(t) = -0.1$ で $T_3(t) = T_c$ 、 $\Delta v(t) = 0$ で $T_3(t) = T_{30}$ 、 $\Delta v(t) \rightarrow \infty$ で $T_3(t) = T_2(t)$ の条件を満足する exp 関数である。

$$\Delta k_3^*(t) = 1 - a_{30} - e^{\frac{\ln(1-a_{30})}{v_0}(\Delta v(t)+v_0)} \quad (17)$$

式 (14) のパラメータ b_{ci} は、図 8 に示す近似曲

線で近似できるものと仮定する。この近似曲線は、式 (18) を $-2 \leq \Delta v_c(t) \leq 2$ の範囲で式 (14) により近似したものである。すなわち、

$$b_{c1} = -0.18, b_{c2} = 0.048, b_{c3} = -0.0076$$

ただし、式 (18) は、 $\Delta v(t) = 0$ において、 $\Delta v_c(t) = -2$ で $T_3(t) = T_2(t)$ 、 $\Delta v_c(t) = 0$ で $T_3(t) = T_{30}$ 、 $\Delta v_c(t) \rightarrow \infty$ で $T_3(t) = T_c$ の条件を満足する exp 関数である。

$$\Delta k_{3c}^*(t) = -a_{30} + e^{\frac{\ln a_{30}}{v_{c0}}(\Delta v_c(t)+v_{c0})} \quad (18)$$

式 (9) の k_3 は、 v_{c0} および e_{c0} より、次のように求められる。

$$k_3 = v_{c0} / e_{c0} = 0.4$$

4.2 線形運動方程式

制御系設計に用いる数学モデルを導出するための線形運動方程式は、式 (1) ~ (14) を線形化することにより、以下のように求められる。

$$\Delta v(t) = k_1 \Delta e(t) \quad (19)$$

$$C_{21} C_{22} \Delta \ddot{T}_2(t) + (C_{21} + C_{22}) \Delta \dot{T}_2(t) + \Delta T_2(t) = K_{2h} \Delta e_h(t) + K_2 \Delta e(t) \quad (20)$$

$$C_{31} C_{32} \Delta \ddot{T}_3(t) + (C_{31} + C_{32}) \Delta \dot{T}_3(t) + \Delta T_3(t) = K_{32} \Delta T_2(t) + K_3 \Delta e(t) + K_{3c} \Delta e_c(t) \quad (21)$$

ただし、式 (19) ~ (21) に出てくる各パラメータは下記のとおりである。

$$C_{21} = \sum_{i=0}^3 a_{21i} \left\{ \frac{T_{20} + T_1}{2} \right\}^i = 132.78$$

$$C_{22} = \sum_{i=0}^3 a_{22i} \left\{ \frac{T_{20} + T_1}{2} \right\}^i = 36.39$$

$$C_{31} = \sum_{i=0}^3 a_{31i} \left\{ \frac{T_{20} + T_{30}}{2} \right\}^i = 124.99$$

$$C_{32} = \sum_{i=0}^3 a_{32i} \left\{ \frac{T_{20} + T_{30}}{2} \right\}^i = 38.85$$

$$K_{2h} = a_{h1} + 2a_{h2} e_{h0} + 3a_{h3} e_{h0}^2 = 18.51$$

$$K_2 = k_1 b_{21} = -12.6, K_{32} = a_{30} = 0.38356$$

$$K_3 = k_1 b_{31} (T_{20} - T_c) = 4.38$$

$$K_{3c} = k_3 b_{c1} (T_{20} - T_c) = -5.256$$

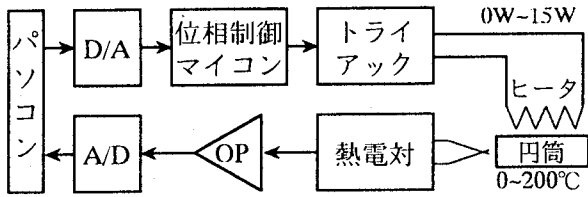


図 3 温度制御実験装置

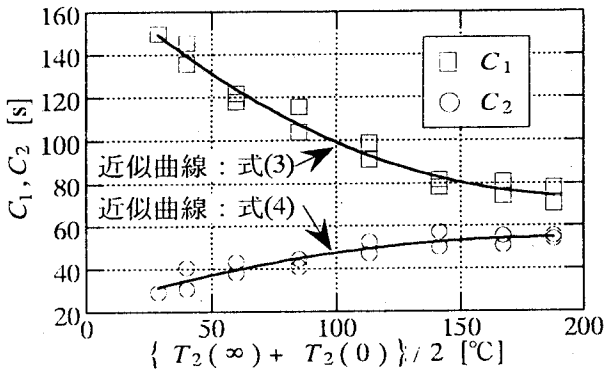


図 4 温度制御実験装置 2 次遅れ系近似による時定数

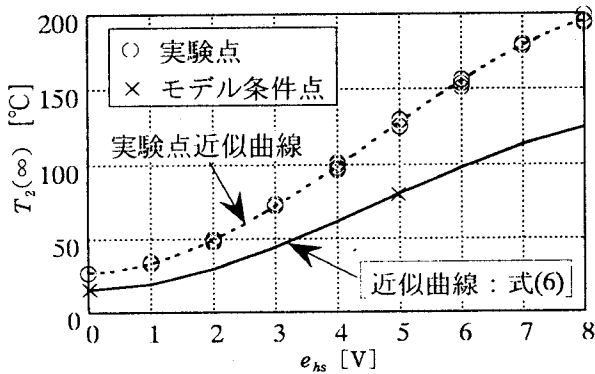


図 5 温度制御実験装置の静特性

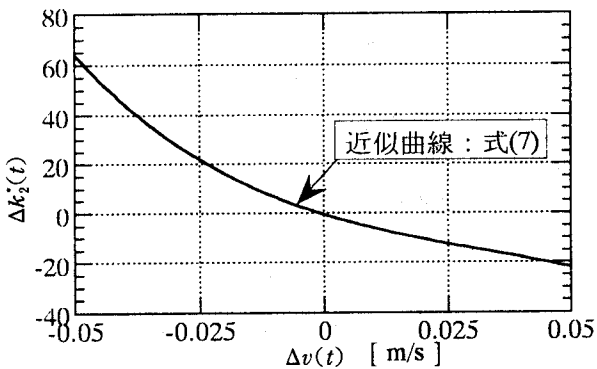


図 6 加熱部味噌流量特性 (仮定)

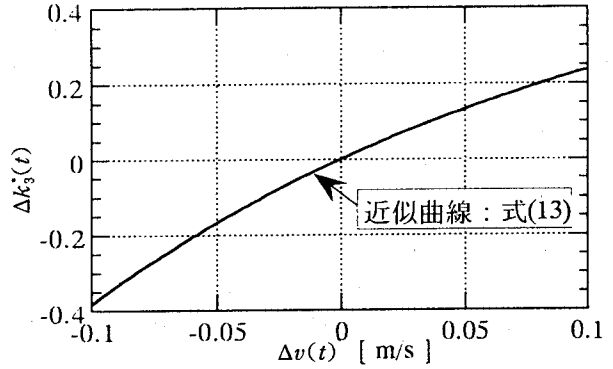


図 7 冷却部味噌流量特性 (仮定)

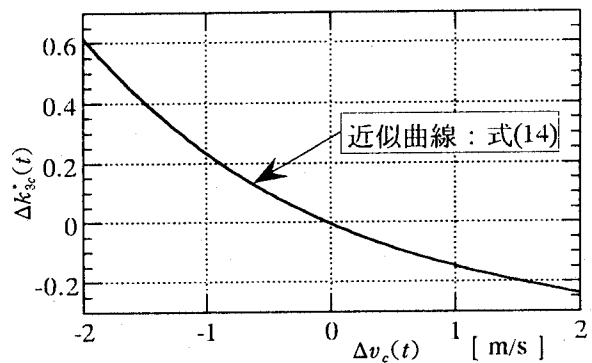


図 8 冷却部冷却水流量特性 (仮定)

5. シミュレーション

本章では、第 3、4 章で求めた数学モデルの妥当性を確認するために、非線形および線形運動方程式を用いて、運転開始時および定常運転時のステップ応答のシミュレーションを行う。ただし、前章で求めた数学モデルの各パラメータはすべて仮定であるので、実機との比較は行えない。したがって、ここでは定性的な特性の確認のみを行う。

5.1 運転開始時シミュレーション

第 2 章に示した運転操作手順の (1) ~ (3) の運転開始時のシミュレーションを、第 3 章の非線形モデル式 (1) ~ (14) および 4.4 節の線形モデル式 (19) ~ (21) を用いて行う。すなわち、初期条件を $T_2(0) = T_3(0) = T_1$, $\dot{T}_2(0) = \dot{T}_3(0) = 0$ とし、ステップ入力 $e(t) = e_0$, $e_h(t) = e_{h0}$, $e_c(t) = e_{c0}$ としたときの、 $T_2(t)$ および $T_3(t)$ を計算する。それらの結果を、図 9 に示す。図から明らかなように非線形モデル (実線) と線形モデル (破線) のシミュレーション結果には、ほとんど違いが見られない。また、 $T_3(t)$ の温度上昇は、 $T_2(t)$ の温度上昇に遅

れて始まっており、図1に示す実機の定性的な過渡特性と一致している。

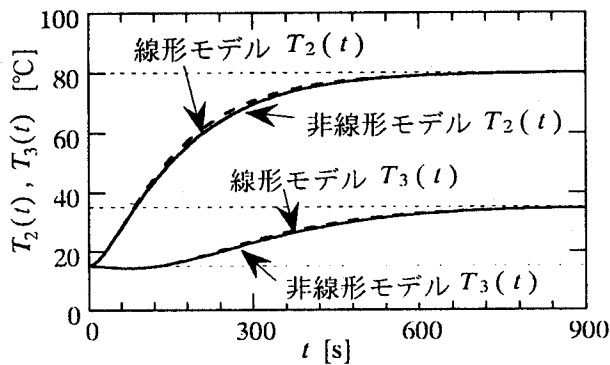


図9 運転開始時シミュレーション結果

5.2 定常運転時シミュレーション

定常運転状態における、 $e(t)$ のステップ応答シミュレーションを、非線形モデルおよび線形モデルを用いて行う。すなわち、初期条件を $T_2(0)=T_{20}$, $T_3(0)=T_{30}$, $\dot{T}_2(0)=0$, $\dot{T}_3(0)=0$ とし、 $e(t)$ を式 (22), $e_h(t)=e_{h0}$, $e_c(t)=e_{c0}$ としたときのステップ応答である。それらの結果を図10に示す。図から、非線形モデル (実線) と線形モデル (破線) で、定常特性が大きく違っていることがわかる。また、 $300 < t \leq 900$ において $T_3(t)$ は、 $v(t)$ が速くなることによる温度上昇と、 $T_2(t)$ が下がることによる温度低下がキャンセルされ、ほとんど変化していないことがわかる。900 < $t \leq 1500$ では、その逆の現象で、 $T_3(t)$ がほとんど変化していない。このことは、図1に示す実機の定性的な特性と一致する。

$$e(t) = \begin{cases} e_0 & (0 < t \leq 300) \\ e_0 + 1.0 & (300 < t \leq 900) \\ e_0 - 1.0 & (900 < t \leq 1500) \\ e_0 & (1500 < t \leq 1800) \end{cases} \quad (22)$$

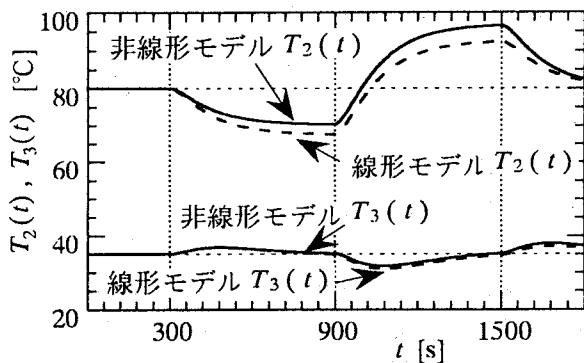


図10 $e(t)$ のステップ応答

同様に、 $e_h(t)$ のステップ応答のシミュレーションを図11に示す。ただし、初期条件は図10と同じであり、 $e_h(t)$ を式 (23), $e(t)=e_0$, $e_c(t)=e_{c0}$ としている。図から、非線形モデル (実線) と線形モデル (破線) では、ほとんど違いが見られないことがわかる。また、 $T_2(t)$ の上昇にともない、 $T_3(t)$ が遅れて上昇し、下降にともない、遅れて下降するのがわかる。これも、図1に示す実機の定性的な特性と一致する。

$$e_h(t) = \begin{cases} e_{h0} & (0 < t \leq 300) \\ e_{h0} + 1.0 & (300 < t \leq 900) \\ e_{h0} - 1.0 & (900 < t \leq 1500) \\ e_{h0} & (1500 < t \leq 1800) \end{cases} \quad (23)$$

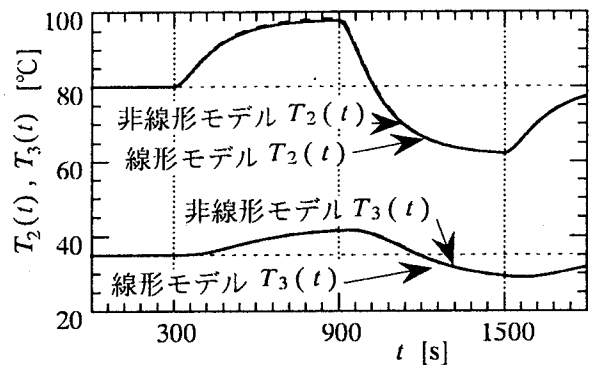


図11 $e_h(t)$ のステップ応答

6. ま と め

本研究では、ジュール加熱殺菌装置を参考にして、一般的な加熱殺菌装置に対する数学モデルを導出した。さらに、温度制御実験装置の特性を用いてその各パラメータを決定した。また、導出した数学モデルのシミュレーション結果は、ジュール加熱殺菌装置の定性的な特性と一致しており、その妥当性も確認することができた。

しかしながら、現在のところ、実際のジュール加熱殺菌装置の実験データがないため、モデルには多くの仮定を置いている。したがって、第4章に示した各特性を見出すための実験を行い、モデルの精度を上げることが当面の課題である。

参 考 文 献

- 1) (株)イズミフードマシナリ, アセプライザーシリーズカタログ.
- 2) 江崎昇二, 制御情報工学実験テキスト(H13).

一般論文

FeAs₂ の熱分解によって生成するひ素ガスの平衡蒸気圧測定

重	松	浩	気
馬	越	幹	男
久	保	甚	一 郎
古	賀	功	一*

**Vapor Pressure Measurements of Arsenic Gas Formed
by Dissociation Reactions of FeAs₂ Compounds**

Koki	SHIGEMATSU
Mikio	UMAKOSHI
Jinichirou	KUBO
Kouichi	KOGA*

FeAs₂ compounds were found by X-ray techniques to decompose to form As₄ gas as a following reaction (1).



The equilibrium vapor pressures of As₄ gas formed by the reaction (1) were measured using the Knudsen method in the temperature range from 883K to 1004K. The value of the vaporization coefficient of FeAs₂ compounds, α in the following equation (2), which is used for obtaining the equilibrium vapor pressures, was determined and was found to be 4.51×10^{-4} .

$$P_e = \frac{\dot{m}}{44.33K} \left(\frac{T}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{K \times a}{\alpha \times A} \right) \quad (2)$$

The logarithm of equilibrium vapor pressures obtained in this experiments were plotted against the reciprocal numbers of temperatures showed the good linear relationship and the equation obtained by least minimum square method is expressed as follows.

$$\log_{10} P_e = -\frac{14180.2}{T} + 12.014 \quad (3)$$

1. はじめに

金属の原料になる鉱石，とりわけ銅，鉛や亜鉛鉱石には微量であるがひ素が含有されている。これらのひ素が製錬工程に持ち込まれると，温度や雰囲気中の酸素分圧の影響を受けて，酸化数+3と+5のひ素の割合が変化したり，さらにひ化物融体にはもちろんであるが酸化物融体，硫化物融体，金属融体や気相など，炉内の全相に存在するという厄介で複雑な挙動を示す。

現在，金属製錬炉はコンピュータで管理されているが，複雑な挙動をとるひ素に関しては，ほぼ放置されている状況であり十分な制御と管理はできていない。

著者らは，このような状況を打開するために，ひ

素化合物が比較的低温で熱分解し，ひ素ないしはひ素化合物の気体を生成するというひ素化合物の化学的な特徴点に注目し，生成気体の平衡蒸気圧を測定してきた。平衡蒸気圧と温度との関係がわかれば，気相中のひ素はもちろん固液相中のひ素についてもある程度の情報が得られるからである。

今回は，非鉄製錬操業でスパイスの中心成分と言われている FeAs₂ 化合物が熱分解して生成するひ素ガスについて平衡蒸気圧をクヌーゼン法で測定したので報告する。

2. クヌーゼン法による平衡蒸気圧測定の原理

平衡蒸気圧を測定する方法はいくつかあるが¹⁾，本実験では，動的法として精度が高いと言われている事と，高価な高純度ひ素を用いるため少量で測定が可能であるという理由によりクヌーゼン法を用い

た。測定原理は気体分子運動論に基づいており、平衡蒸気圧 P_e (atm) は (1) 式によって算出される²⁾。

$$P_e = \frac{\dot{m}}{44.33 \cdot K} \cdot \left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{K \cdot a}{\alpha_c \cdot A}\right) \quad (1)$$

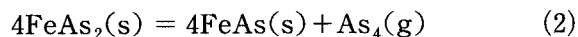
ここで、 \dot{m} : 蒸気がオリフィスから単位面積、単位時間あたりに流出する質量 ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)、 K : クラウジング係数 (-)、 T : 絶対温度 (K)、 M : 気体の分子量、 a : オリフィスの断面積 (cm^2)、 α_c : 蒸発係数 (-)、 A : クヌーゼンセルの内断面積 (cm^2) である。

3. FeAs_2 の熱分解反応

$\text{Fe}-\text{As}$ 系状態図³⁾ には FeAs_2 のほか、 FeAs 、 Fe_3As_2 、 Fe_3As などが存在することが知られている。 FeAs_2 は As 側に最も近い組成を持つ化合物であるからこの化合物が熱分解すれば、状態図的にはひ素ガスが生成し、同時に FeAs_2 より次に Fe 側にある化合物、すなわち FeAs を生成するはずである。著者らは、そのことを X 線回折分析により確

認した。酸化されないように黒鉛ルツボに FeAs_2 を 0.5g 入れ、約 10^{-6} atm まで真空排気した赤外線加熱炉で蒸気圧測定温度範囲 ($610 \sim 730^\circ\text{C}$) にある 650°C に加熱し、ルツボ内の残渣の X 線回折分析 (リガク社製、RAD-2C 型、加速電圧: 30 KV, 10 mA) を行った。図 1 (a) には FeAs_2 化合物の、(b) に熱分解途中のルツボ内残渣の X 線回折分析結果をに示している。図 1 (b) には、 FeAs_2 (ICCD ファイル⁴⁾ No.11-699 と一致) の熱分解途中に生成した FeAs (ICCD ファイル No.12-799 と一致) の回折ピークが観察される。

この結果から、 FeAs_2 は状態図から予想される通り以下の (2) 式により熱分解することが分かる。



なお、ひ素ガスについては、 800°C 以下では 4 量体が主要な蒸気種であることが知られている⁵⁾ ので (2) 式のようになる。

4. 本実験で使用したクヌーゼンセル

本実験では平衡蒸気圧をクヌーゼン法にて測定した。この方法ではセルの蓋部に小孔 (オリフィス) を持つ容器が必要である。本実験では高純度グラファイト製 (灰分 $< 0.002\%$) セルを使用した。図 2 にセルの概略図を、表 1 にクラウジング係数が異なる 2 個のセル各部の寸法を示す。

表 1 に示した A と B のクラウジング係数が異なる 2 個のセルを組み合わせて同一温度で蒸気圧を測定し、 FeAs_2 試料の蒸発係数 α_c を算出する。この 2 個のセルの共通点は、円筒形試料室の内直径 (2R) と内高さ (H) とが等しいライトシリンダー型になっていることである。またオリフィスの形状がともに円管形、チャンネル形になっていることである。このためにセル内が平衡蒸気圧に達し気体分子がオリフィスから拡散流出する時に、気体分子の一部がオリフィスの内壁に衝突して一部がセル内に戻る。そのため、理想的オリフィスを用いた場合より蒸気圧の値が低めに見積もられることになる。これを補正するのがクラウジング係数であり、Kennerd の式⁶⁾ により算出することも出来るが、

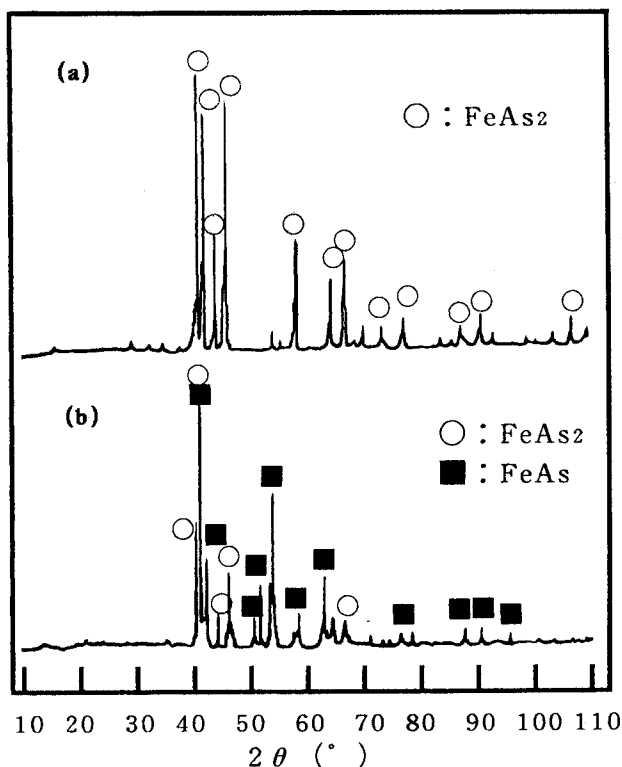


図 1 FeAs_2 化合物 (a) とその熱分解途中の黒鉛ルツボ内の残渣 (b) の X 線回折結果

表 1 本実験で使用した 2 個のクヌーゼンセルの寸法

セル No.	r (mm)	l (mm)	R (mm)	L (mm)	D (mm)	H (mm)
A	0.05	0.50	3.5	7.0	15.0	12.0
B	0.06	0.75	3.5	7.0	15.0	12.0

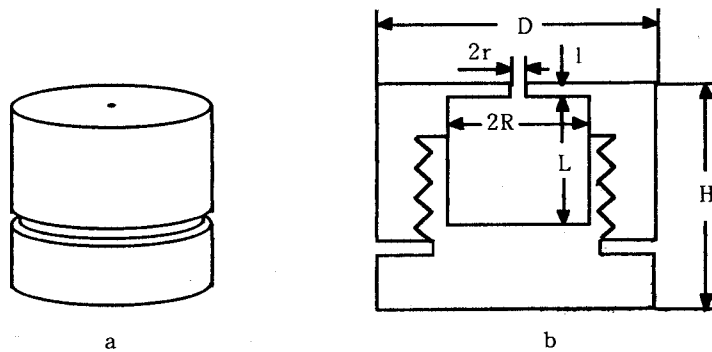


図 2 本実験で使用したクヌーゼンセルの概観
(a) および断面の概略図 (b)

本実験では次の予備実験によりクラウジング係数を決定した。

5. 実験装置および方法

(1) 式から平衡蒸気圧を求めるためには、 \dot{m} を測定しなければならない。これに関する実験装置と方法については前報⁷⁾ に詳細に記述しているので省略するが、3 節で述べたセルに FeAs₂ 試料を 0.2g 装入し、 2×10^{-6} atm まで排气された赤外線加熱炉中で実験温度に到達したセルから流出する気体の重量減少を熱天秤分析装置で測定することにより得た。

6. 実験結果および考察

6.1 クラウジング係数の決定

本実験では、クラウジング係数を求めるために、金属亜鉛（純度 99.999）をセル A およびセル B に入れ、次の (3) 式により熔融 Zn が蒸発するときの平衡蒸気圧を同様にクヌーゼン法により測定して決定した。

$$\text{Zn}(l) = \text{Zn}(g) \quad (3)$$

Zn の平衡蒸気圧 P_e は (1) 式により求めることができる。ただし、(1) 式中の Zn の蒸発係数 α_c は液体金属から単原子が蒸発する時は $1^8)$ であり、したがって (1) 式中の M は Zn の原子量 65.37 を用いた。また、Zn の平衡蒸気圧 P_e は A. Eucken⁹⁾ が測定した (4) 式を用いた。

$$\log_{10} P_e = \frac{-6620}{T} - 1.255 \log_{10} T + 9.459 \quad (4)$$

Zn の流出速度 \dot{m} については、A と B のセルに金属亜鉛（純度 99.999%）を 0.5g 装入し、前述したように熱天秤による重量分析を行うことにより測定し

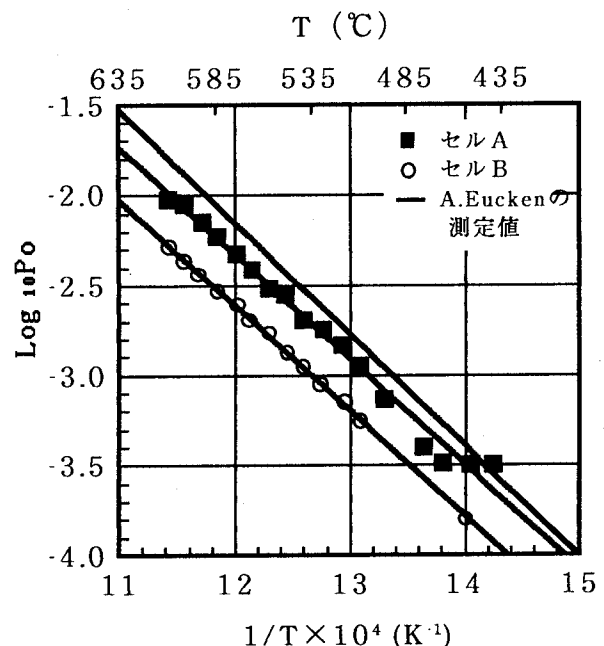


図 3 (5) 式で表される P_0 の対数と温度の逆数との関係

た。クラウジング係数を求めるために便宜的に、次の (5) 式を定義する。

$$P_0 = \frac{\dot{m}}{44.33} \left(\frac{T}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

これにより (1) 式は、以下の (6) 式のように変形され、亜鉛の平衡蒸気圧は温度とクラウジング係数だけの関数で表される。

$$P_e(\text{Zn}) = P_0 \times \frac{1}{K} \left(1 + \frac{K \times a}{A} \right) \quad (6)$$

$M = 65.37$, A にセル内断面積, a にオリフィス断面積を代入し、それぞれ測定温度での亜鉛の蒸気圧を (4) 式で算出すれば、本実験で用いたセル A と B のクラウジング係数を見積もることができる。

表 2 液体 Zn が蒸発する時の流出速度と (5) 式で表される P_0 値

セル A			セル B		
温度 (°C)	\dot{m}	P_0	温度 (°C)	\dot{m}	P_0
702	0.004302	0.0003180	764	0.007238	0.0005581
712	0.004302	0.0003202	772	0.009224	0.0007150
724	0.004302	0.0003229	785	0.011358	0.0008878
733	0.005317	0.0004015	794	0.014187	0.0011152
752	0.009570	0.0007321	803	0.016926	0.0013380
764	0.014607	0.0011263	813	0.021631	0.0017206
773	0.018748	0.0014541	825	0.025256	0.0020237
783	0.023001	0.0017955	832	0.030846	0.0024820
794	0.025744	0.0020236	844	0.036377	0.0029481
804	0.035593	0.0028154	856	0.044691	0.0036476
813	0.038280	0.0030448	865	0.052538	0.0043105
823	0.048479	0.0038797	875	0.063451	0.0052359
832	0.059182	0.0047621			
844	0.073033	0.0059189			
853	0.087724	0.0071473			
865	0.108291	0.0088848			
875	0.114377	0.0094382			

表 3 任意の温度におけるセル A とセル B のクラウジング係数の値

温度 (K)	K (セル A)	K (セル B)	温度 (K)	K (セル A)	K (セル B)
700	0.8082	0.4202	800	0.6945	0.3596
710	0.7937	0.4125	810	0.6863	0.3552
720	0.7800	0.4052	820	0.6784	0.3510
730	0.7670	0.3983	830	0.6710	0.3471
740	0.7549	0.3918	840	0.6639	0.3432
750	0.7434	0.3857	850	0.6572	0.3397
760	0.7325	0.3799	860	0.6508	0.3363
770	0.7222	0.3744	870	0.6447	0.3330
780	0.7125	0.3692	880	0.6389	0.3300
790	0.7032	0.3643	平均値	0.7107	0.3682

まずセル A と B を用いて各測定温度で得られた \dot{m} , P_0 値を表 2 に示した。

ここで、これらのデータの妥当性を検討するために表 2 中の P_0 の値の対数と温度の逆数 $1/T$ との関係プロットしてみた。

その結果を図 3 に示した。セル A と B とともに良好な直線関係を示すことから信頼性が高いデータが

得られたものと考え、著者らはこれらセル A とセル B の図 3 中のプロットを最小二乗法し、任意の温度を最小二乗法によって得た式 P_0 と (4) に代入して、クラウジング係数を算出した。その結果を表 3 に示した。クラウジング係数は温度の影響を受け、温度が高くなる程小さな値になることが分かる。チャンネル型オリフィス内の分子運動を考えれば、

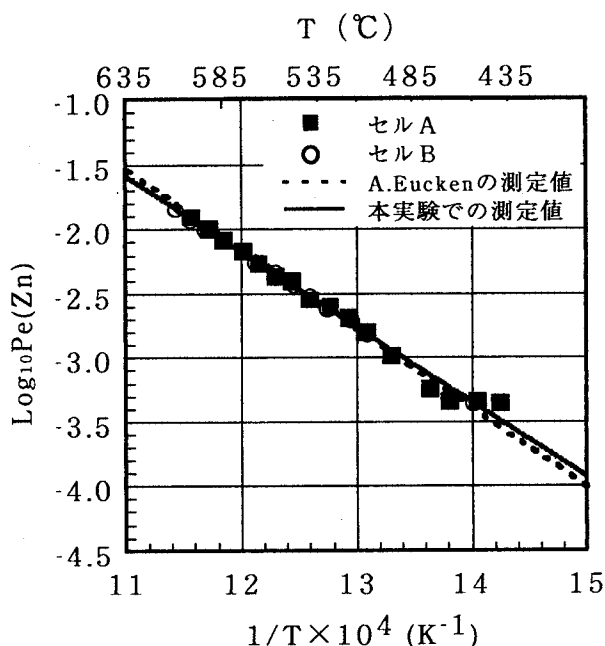


図4 本実験で測定した Zn の平衡蒸気圧

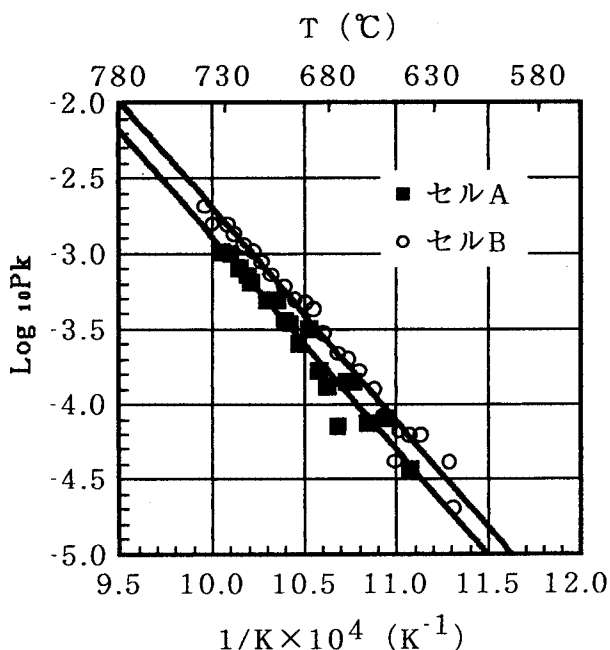


図5 (8) 式で定義される Pk の対数と温度の逆数との関係

温度が高くなる程気体分子同士あるいはチャンネル壁に衝突しセル内に戻ってくる分子は多くなると予想されるので表3の結果は妥当であると思われる。しかし著者らは実際に Zn や FeAs₂ の平衡蒸気圧を計算するときには表3の各温度のクラウジング係数の値を平均した値、セル A については0.7107を、

セル B については0.3682を用いた。これらの値を(6)式の右辺に代入して得た本実験で測定した Zn の平衡蒸気圧値をプロットした結果を図4に示す。

図4中のセル A とセル B の全点のプロットを最小二乗法して得た Zn の蒸気圧の対数と温度の逆数との関係は次の(7)式で表され、A. Eucken の測定値とほとんど一致することが判明し、クラウジング係数は妥当な値であることが分かった。

$$\log_{10}Pe(\text{本実験}) = -\frac{5861.3}{T} + 4.858 \quad (7)$$

6.2 FeAs₂ 化合物の蒸発係数 α_c の決定

FeAs₂ 化合物が(2)式にしたがって熱分解するときに生成する As₄ ガスの平衡蒸気圧を(1)式から算出するためには、(1)式中の蒸発係数、 α_c を決定しなければならない。蒸発係数は物質によって異なっており、しかも同一物質でもその表面性状によって違った値を持つと言われている⁸⁾。本実験では以下の手順でその値を決定したが、そのために便宜上(8)式で示される Pk を定義する。

セルからの流出速度、 \dot{m} の測定値および(8)式から算出した Pk の値を表4に示す。

$$Pk = \frac{\dot{m}}{44.33K} \left(\frac{T}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

さらに、Pk についてその対数と温度との逆数の関係をセル A とセル B とも図5に示した。図5の結果からセル A とセル B とも良好な直線関係を示すことが分かる。両直線を最小二乗法し、(9)と(10)式に示す $\log_{10}Pk$ と $1/T$ の関係式を得た。

セル A : 883~995 K

$$\log_{10}Pk = -\frac{14141.2}{T} + 11.253 \quad (9)$$

セル B : 898~1004 A

$$\log_{10}Pk = -\frac{14196.1}{T} + 11.502 \quad (10)$$

(9)と(10)式から蒸発係数 α_c を算出するためには次の(11)式を用いた。すなわち、クラウジング係数が異なる2つのセルは同一温度であれば、同じ平衡蒸気圧を示すはずである。

表 4 (2) 式で生成される As₄ ガスの流出速度と (8) 式で定義される Pk の値

セル A			セル B		
温度 (K)	\dot{m}	Pk (atm)	温度 (K)	\dot{m}	Pk (atm)
903	0.000672	0.0000370	898	0.000585	0.0000620
913	0.001469	0.0000814	903	0.000585	0.0000622
922	0.001343	0.0000748	908	0.000624	0.0000665
929	0.002518	0.0001408	886	0.000390	0.0000411
932	0.002518	0.0001410	884	0.000195	0.0000205
936	0.001259	0.0000706	910	0.000390	0.0000416
941	0.002309	0.0001299	915	0.000780	0.0000835
945	0.002938	0.0001656	919	0.001169	0.0001255
950	0.005596	0.0003163	926	0.001559	0.0001679
955	0.004461	0.0002528	931	0.001871	0.0002020
959	0.006044	0.0003432	936	0.002027	0.0002195
962	0.006212	0.0003533	943	0.002728	0.0002965
966	0.008563	0.0004880	948	0.003898	0.0004248
979	0.011081	0.0006358	952	0.004287	0.0004682
985	0.013935	0.0008020	957	0.004521	0.0004950
990	0.017209	0.0009929	962	0.005457	0.0005990
971	0.008563	0.0004893	969	0.006548	0.0007214
981	0.012424	0.0007136	974	0.007925	0.0008754
995	0.017629	0.0010197	978	0.009354	0.0010354
			983	0.010134	0.0011246
			988	0.012027	0.0013380
			992	0.014031	0.0015642
			1000	0.014031	0.0015705
			1004	0.018396	0.0020632

表 5 任意の温度における蒸発係数の値

温度 (K)	蒸発係数 a_c ($\times 10^{-5}$)
900	4.825
910	4.757
920	4.692
930	4.628
940	4.566
950	4.506
960	4.447
970	4.390
980	4.334
990	4.280
1000	4.227
平均値	4.514

$$Pk(A) \times \left(1 + \frac{K(A) \times a}{\alpha_c \times A} \right) =$$

$$Pk(B) \times \left(1 + \frac{K(B) \times a}{\alpha_c \times A} \right) \quad (11)$$

Pk (A), Pk (B) はそれぞれセル A とセル B で測定した (9) と (10) であり, K (A) と K (B) はそれぞれセル A とセル B のクラウジング係数である。(9), (10) および (11) 式を用いて任意の温度の蒸発係数を算出した結果を表 5 に示した。FeAs₂ 化合物の蒸発係数は 10⁻⁵ のオーダーを示しているが, 一般的にひ素およびひ素化合物の蒸発係数は非常に小さな値をとることが知られており⁸⁾,

表 6 各測定温度における (2) 式で生成される Pe ガスの平衡蒸気圧の値

セル A		セル B	
温度 (K)	Pe	温度 (K)	Pe
903	0.000195	898	0.000209
913	0.000428	903	0.000210
922	0.000393	908	0.000224
929	0.000740	886	0.000139
932	0.000741	884	0.000069
936	0.000371	910	0.000140
941	0.000683	915	0.000282
945	0.000871	919	0.000423
950	0.001663	926	0.000567
955	0.001329	931	0.000682
959	0.001804	936	0.000741
962	0.001857	943	0.001001
966	0.002566	948	0.001434
979	0.003342	952	0.001580
985	0.004216	957	0.001671
990	0.005220	962	0.002022
971	0.002572	969	0.002435
981	0.003751	974	0.002955
995	0.005361	978	0.003495
		983	0.003796
		988	0.004516
		992	0.005279
		1000	0.005301
		1004	0.006964

著者らによって測定された金属ひ素の蒸発係数は約 9×10^{-5} であった⁷⁾。したがって表 5 の結果は妥当であると思われるが温度が高くなると蒸発係数の値が小さくなる傾向については疑問が残る⁸⁾。そこで FeAs₂ が (2) 式に基づいて生成するひ素ガスの平衡蒸気圧を求める時には、表 5 の各温度の蒸発係数の値を平均した値、 4.514×10^{-5} を採用した。

6.3 平衡蒸気圧の決定

平衡蒸気圧を (1) 式で決定するために必要なクラウジング係数 K および蒸発係数 a_c を測定して得たので FeAs₂ が (2) 式により生成する As₄ ガスの平衡蒸気圧を算出した。測定温度と得られた平衡蒸気圧の値 Pe を表 6 に示した。セル A とセル B

で測定した表 6 の結果を $\log_{10}Pe$ と $1/T$ の関係でプロットした結果を図 6 にしめた。両セルのプロットとも良好な直線関係を示し、ほぼ同一直線上に載ることが分かる。全プロットを最小二乗法し、(12) 式に示す平衡蒸気圧と温度との関係式を得た。

$$\log_{10}Pe = -\frac{14180.2}{T} + 12.014 \quad (12)$$

測定温度 883~1004 K

7. ま と め

FeAs₂ が (2) 式によって生成する As₄ ガスの平衡蒸気圧をクラウジング係数が異なる 2 つのセルでクヌーゼン法により測定し以下の結果を得た。

(1) FeAs₂ 化合物は X 線回折分析により次の

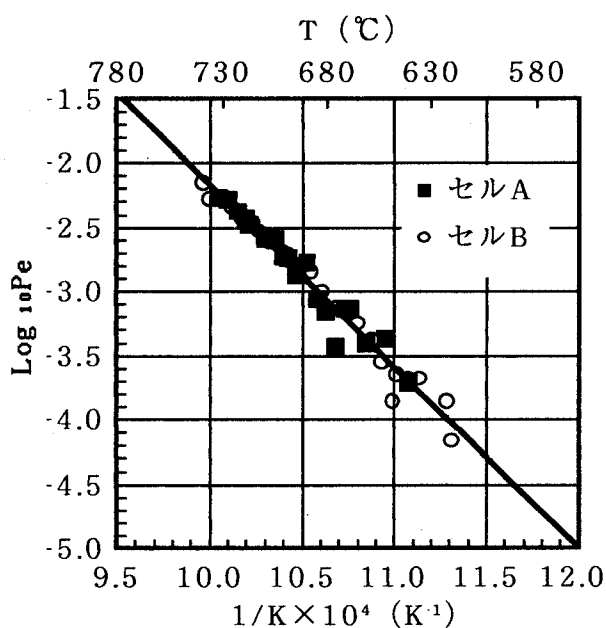
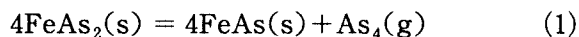


図6 FeAs₂化合物が(2)式により熱分解するとき生成するAs₄ガスの平衡蒸気圧と温度との関係

(1) 式で熱分解することが分かった。



(2) 本実験で用いた粉末状のFeAs₂化合物(純度99.999)の蒸発係数は約4.5×10⁻⁵であった。

(3) 上記(1)式により生成されるAs₄ガスの平衡蒸気圧Peの対数と温度の逆数との関係は以下の(2)式で表されることが判明した。

$$\log_{10}Pe = -\frac{14180.2}{T} + 12.014 \quad (2)$$

参 考 文 献

- 1) 日本化学会：新実験化学講座2, 基礎技術1 熱・圧力, 丸善, (1997), 333
- 2) 日本化学会：新実験化学講座2, 基礎技術1 熱・圧力, 丸善, (1997), 376
- 3) Shunk: Constitution of Binary Alloys, Materials Science and Second Supplement, MacGraw-Hill published (1969), 51
- 4) International Centre for Diffraction Data: POWDER DIFFRACTION FILE.
- 5) Preuner and Brockmoller: Z. Physik. Chem., (Leipzig), Vol.81, (1912), 129
- 6) E. H. Kennard: Kinetic Theory of Gases, McGraw-Hill, (1938), 306
- 7) 重松浩気, 馬越幹男, 久保甚一郎：久留米高専紀要, 第15巻, 第12号, (2000), 9
- 8) 日本化学会編：固体の関与する無機反応, 東京大学出版会, (1975), 130
- 9) A. Eucken: Metallwirtsch, 15, Vapour pressures of metals—assessment, (1936), 63

一般論文

A Study on the TOEIC Test

—Evaluation of the TOEIC Test as One of Teaching Materials—

Takanori ESHIMA

The purpose of this paper is to discuss Test of English for International Communication (hereafter TOEIC). First, analyses of the TOEIC test and IP tests done to our students were given and the evaluation of the TOEIC test will be made. Secondly the differences between the TOEIC test and other English assessment tests such as TOEFLⁱ, STEPⁱⁱ and Technical Communication Test are shown. Then method of introducing the TOEIC test as one of teaching materials for communicative English will be discussed. Finally, advantages of the TOEIC materials will be pointed out. As concluding remarks, the problem of accreditation to the TOEIC test score will be raised.

1. INTRODUCTION

In accordance with the globalization, students are required to have communicative English. At Kurume College of Technology (hereafter Kosen) our college we have started Institutional Program (hereafter IP) of the TOEIC test. Last year the total number of 255 students took the TOEIC IP test at Kurume Kosen. Recently an increasing number of students are asked to report the score of the TOEIC test when they apply for a job to corporations. That's why we planed to start IP of the TOEIC test 2 years ago.

IP offers reasonable fee for a trial examination. This encourages students to take the TOEIC test actively. At many companies, employees are asked to take a certain score at the TOEIC test when they are promoted to higher positions. The required score levels vary from company to company as listed below.

In this paper, the TOEIC test is to be evaluated by comparing with other English assessment tests. I would like to discuss what should be done and how it should be done to develop student ability in English.

Table 1 The required score levels at companies

SCORE	COMPANY'S NAME (POSITION)
730	JAPAN IBM (deputy manager)
650	MATSUSITA ELECTRIC COMPANY (employees working oversea branches)
600	JAPAN IBM (section manager), TOYOTA MOTORS (sub section manager)
500	ISUZU MOTORS (section manager) KOMATUSEISAKUSHO (section manager), TEIJIN (section manager), NIHON SEIKO (sub section manager, section manager)
470	ASAHIGLASS (sub section manager)
450	MATSUSITA ELECTRIC COMPANY (chief)
420	DENSO (chief of desk workers and engineers)

(By the *Daily Yomiuri* dated on April 24,2000)

平成13年11月20日 受理

ⁱTOEFL stands for Test of English as a Foreign Language.

ⁱⁱSTEP stands for Standard Test of English Proficiency.

2. ANALYSES AND COMPARISON

2.1 Assessment of the TOEIC TEST

What has made the TOEIC test highly valued these days? The TOEIC test is highly evaluated at companies, universities and other institutions these days. As to the historical background, this test was invented and developed by Educational Testing Service (hereafter ETS) and it started in 1979 in the United States. The TOEIC test has been used by corporations and government agencies to assess the English ability of their employees, who are going to stay and work for their oversea branches or to deal with foreign trade and who need to have communication ability in English.ⁱⁱⁱ Total number of Japanese examinees, who took the TOEIC test including IP, was 1,080,000 in 2000. The number of examinees is growing steadily. Advantages and disadvantages of TOEIC are as follows:

Advantages:

1. The result is given as the score from 10 to 990 by every 5 points.
2. Easy assessment of examinee's ability level and progress in learning English, especially listening section is good.
3. Getting the certificate showing your ability to the employers.
4. To make progress in communicative English and prepare for the possible chance of using English in future.

Disadvantages:

1. The test covers only two aspects, listening skill and reading skill.
2. Examination fee is expensive. Open TOEIC test fee is 6,615 yen including consumption tax.

The TOEIC test is aimed to evaluate the general English proficiency for the global workplace. It assesses progress from beginning to end of course. It is also used for selection of job applicants and candidates for professional

and technical training. Originally adult students in business, vocational, trade and language schools have been taking this test. Score is divided from 10 to 990 by every 5 points. Questions are mainly about the conversation or expressions in the global workplace and everyday life. Examinees will be able to know their levels of English competence. Questions consist of two sections, listening section and reading section. Questions are all multiple-choice questions and are answered in mark-sensing card.

First section (Listening) Limited time is 45 minutes.

Questions are 100 in all and are divided into four parts.

Part one is on one picture. 20 questions are given. After listening to four sentences, one should choose the best described one about the given picture. Part two is on question-response. 30 questions are given. After listening to the question, one should choose the best response from the given ones. Part three is on short conversation. 30 questions are given. After listening to short conversation, one should choose the best answer from the given sentences. Conversations are mainly business conversations but are taken from various situations including travel conversations and daily conversations. One should think theoretically and take correct information. Part four is on short talks. 20 questions are given. After listening to short talks, one should choose the best answer from the given sentences. These questions are for listening comprehension. Materials are taken from news, announcement, or speech and one should seize the content at once and immediately answer the questions.

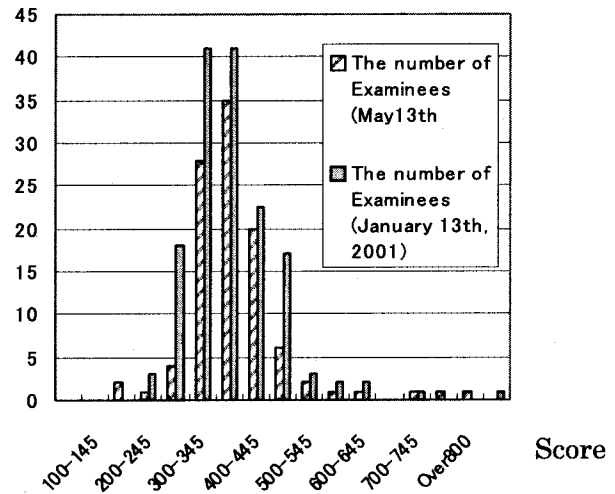
Second section (Reading Section) Limited time is 75 minutes.

Questions are 100 in all and are divided into four parts. Part one is on idioms and

ⁱⁱⁱThis part is cited from the home pages of toEIC-usa.com and is summarized.

Table 2 Distribution of total score

TOTAL SCORE	The number of Examinees (May13 th , 2000)	The number of Examinees (January 13 th , 2001)
Under 95	0	0
100-145	2	0
150-195	1	3
200-245	4	18
250-295	28	41
300-345	35	41
350-395	20	23
400-445	6	17
450-495	2	3
500-545	1	2
550-595	1	2
600-645	0	0
650-695	1	1
700-745	1	0
750-795	1	0
Over800	0	1

Number of Students**Table 3 Highest & lowest scores and mean scores**

	May 13th, 2000	January 13th, 2001
Highest score	790	800
Lowest score	105	180
Mean score	336.6	327.1
Total number of examinees	103	152

grammar. Incomplete sentences are given and should be filled in by choosing the best matching word from the given ones.

These questions are for the grammatical knowledge and idiomatic phrases. 40 questions are given. Part two is error recognition questions. These questions are also for the grammatical knowledge and idiomatic phrases. 20 questions are given. Part three is reading-comprehension question. Ability of rapid reading, summarizing, picking and scanning of the necessary information from the given materials will be measured in this section.

2.2 Results of IP at Kurume Kosen

At Kurume Kosen the TOEIC IP tests were given on May 13th, 2000 and January 13th, 2001. The table 2 and table 3 below show the total number, mean score of all examinees, highest test score, and lowest test score.

The peak score range is from 250 to 395. The mean scores were 337 (May 13th) and 327 (Jan. 13th). 185 out of 255 examinees belonged to this range. Total average score was about 330.

According to the data reported by The Institute for International Business Communication, these results are not so bad. The data

shows that the mean score of all Kosen students of 1999-2000 was 309. Comparing with other Kosens, the average score of Kurume Kosen was a bit higher than that of other Kosens, although the amount of data was not so large. Besides, when we assess the result of the TOEIC test, we should take into account that 32 students of 1st and 2nd year are included among the examinees of our college.

In general, the grade, which the student belongs to, is strongly correlated with the amount of his/her vocabulary. 1st and 2nd year students of Kosens don't seem to have enough amount of English vocabulary for the TOEIC test, though it depends on the student. The TOEIC test is regarded to be good for the students of 3rd and over at Kosen.

In advance of the first TOEIC IP test, the questionnaire was sent out to all students except 1st year students at our college and 552 students replied to the questionnaire. As for the question "Do you know what the TOEIC test is?" 34% of the students from 2nd to 4th year answered that they didn't know anything about TOEIC. Only eight students replied that they had taken the test. TOEIC test-taking experience has more or less influence on the students. As for the STEP test, on the contrary, 64% of the students replied that they had taken the test before.

According to the statistics in 1997 and 1998, the mean score of all Japanese examinees was 498^{iv}.

The context of the TOEIC test has been viewed above. Are there many differences between the TOEIC test and other English proficiency tests? I would like to compare TOEIC with other English assessment tests here.

2.3 TOEFL

TOEFL is also aimed to evaluate English proficiency and readiness for academic pro-

grams. This test will be used to assess examinees ability level whether they will have sufficient English level to take part in classes at universities. The test is also developed by ETS. When you apply for admission to a university in North America, you will be required to take the stipulated score at TOEFL. Questions are about the language used in social and academic contexts in North America.

TOEFL consists of three sections of 140 multiple-choice questions. Questions are answered in mark-sensing card just like as TOEIC. Originally the TOEIC test and the TOEFL test were developed to serve distinctly different purposes, the design, content, and context of each test are also very different^v.

Sections are as follows.

Questions are divided into three parts: Listening Section, Structure and Written Expression and Reading Comprehension.

Section 1 Listening Comprehension

This section is divided into three parts. Part A is made up 30 short conversations. You hear 30 short conversations between two people. Each conversation will not be repeated. Aggressive listening is required. When you hear a question, you will have 12 seconds to read the four possible answers.

Part B has only eight but longer conversations. After you hear a conversation, you will be asked to answer from three to five questions about the conversation. You will have 12 seconds to answer each question.

Part C is made up of 12 questions. You will have several talks. Each talk will last about 60 seconds. After you finish listening to a talk, you will be asked to answer several questions about it. Neither talks nor questions will be repeated. You must concentrate completely. You will have 12 seconds to answer each question.

^{iv}国際教育交換協議会日本代表部 TOEFL-ITP サマリーブック1999--2000 Edition P.11より

^vThis part is cited from the home pages of toEIC-usa.com.

Section 2 Structures and Written Expression

This section is designed to measure your ability to recognize language that is appropriate for standard written English. There are two types of questions in this section, with special directions for each type.

Part A has 15 incomplete sentences and is required to choose the best words from the given words. Part B has 25 error recognition questions. Grammatical knowledge is assessed here.

Section 3

This section is for reading comprehension and consists of several passage readings. The sentences used here are usually used in class in North American Universities. Questions don't require special knowledge of specific fields. This section has a large variety of questions from various academic fields.

The levels of scores are as follows.

Score	Level
Over 600	Over graduate student level
600	graduate student level
550	undergraduate student level
500	Community college level

The TOEIC test is the assessment test of general English proficiency. On the other hand, the TOEFL test is the assessment test of academic English and is the requirement for applying to universities in North America.

2.4 STEP

The STEP test is used to assess the student English competence and his/her progress in English and the result is given by 'passed' or 'not passed'. The STEP test is developed in Japan to measure the learner's skill in English. It is divided into several grades according to examinee's English level. The first grade test is the highest level. This grade is appropriate for graduate students, undergraduates, and workers who will be able to use English freely. This level requires the highest communication

ability in English. Originally this test was aimed to assess the examinee's level of communicative English. For example, the second grade test is to assess the examinee's level whether they have reached to the high school graduate level. The pre-second grade test will be good for 2nd year student of high school. So pre-second and second grade tests are good for Kosen students. The STEP test is good to assess examinees level of vocabulary, grammar and idioms.

The context of the STEP test is rather academic and could accept examinees of a various level of English. In that point, the STEP test is close to the TOEFL test though the TOEFL test is developed in U.S.A. At junior high schools and high schools, many students are taking the test through institutional Testing Program. The STEP test is composed more or less of general English such as daily life English or daily conversation. There may be questions of daily talks, short conversations as well as those of idioms, grammar. More than three million people are taking the STEP test every year these days. A lot of words used in the STEP test were often seen in the high school textbooks, but the words in the TOEIC test were more or less the words in workplaces. Both tests need grammatical knowledge, and idioms but the vocabulary used in both tests is different from each other.

2.5 Technical communication test

Technical communication test is aimed to assess their English level on technical fields and the result is given by 'passed' or 'not passed'. The content of the test is related to their technical fields. Tests are divided into four levels.

Level	
1 st grade	qualified as a specialist in technical English
2 nd grade	qualified as a practical man of technical English
3 rd grade	qualified as a graduate student from technical junior college, and

technical school

4th grade qualified as a graduate student of technical

This test is a different kind of English proficiency. The test requires knowledge of technical fields and its content is composed of technical items. It means a test for general knowledge of technical English and is quite different from the TOEIC test. The target of this test is the technical English and not for general communication ability.

3. METHOD

In Japan the conventional way of teaching English Communication by non-native speaker of English is usually done by 'listening and speaking' practice in LL. But recently, English conversation classes given by native speaker of English increased at high schools and universities. But this method is not enough, though students could improve their pronunciation and listening ability to some extent. Japanese learners of English are said to be poor at Speaking English though they have been studying English for quite a long time. Students usually study English at least for six years before they graduate from high school. If they are to take higher education, they will study English for nearly 10 years. In spite of this fact, many of them will have difficulty in English conversation. Schools have been using a wide variety of English language tests to evaluate their students. Our college used the STEP tests through institutional testing program. In order to improve the above situation, the TOEIC practice may become an effective driving force for our students.

As we have seen in the previous section, many students of our college took the TOEIC test last school year. It means the TOEIC test could be a motivation for the students. We should help them. That's why the TOEIC related materials should be introduced into English classes.

The TOEIC test is shifting its target from employees of corporations to the students of

educational institutes. Formerly when we gave IP of the TOEIC test to our students, we had to collect more than 50 students, but now IP is available for lesser students since this year.

4. PROCEDURE

Materials: The TOEIC related textbooks

Class hour: 90 minutes

The point of the lecture is to focus on the study of the background of the passages or conversations used in the test. Workplace conversations such as the transactions at manufacturing factories, talks with clerks at hotels and so on will be favorable and available in classes. Drastic changes in classroom practice should be taken in to improve students' English proficiency. 90 minutes class hour is to be split into several parts. At the beginning of each class the TOEIC listening practice should be placed. It may be 15 minutes long and it should not be too long. Next 20 minutes would be allotted for vocabulary and grammar learning. Then 20 minutes will be used for passage reading. 20 minutes will be used for the related study of the lesson. The important thing is that the attention is focused on the background of the materials as well as on the repeated practice itself. For example, when the passage reading is written about the menu of a restaurant, the study on the food and restaurants of the American society should be introduced into the class. If the passage is about inquiry about some product of a factory, students will be requested to look through the necessary books on business transaction, dealings, trading customs or trading system etc. Students will sometimes be given assignments. Likewise, one passage will be extended to the related area of the content. The last 15 minutes will be allotted for "Today's" review. The TOEIC practice will spread into many fields. It means the TOEIC materials have immense expansion from business life to daily life.

5. DISCUSSION

The TOEIC test is the world's most

recognized test and a lot of people take this test all over the world. Corporations have been employing the TOEIC test to assess the English proficiency of their employees. The TOEIC test is obviously highly valued. The TOEIC test has two aspects, listening and reading. These two are both passive skills. According to the guidance of Monkasho students should learn four skills of English; reading, writing, speaking and listening. In this point, the TOEIC test lacks 'writing skill' and 'speaking skill'.

As for the questionnaire to the university students, "what do you want to study in English classes?",

Response is as follows:^{vi}

Listening ability and speaking ability
66.9%

Understanding of culture and history of
English speaking countries 33.4%

Translation from Japanese to English
18.1%

Rapid reading 13.6%

And so on.

Judging from these data, a lot of students want to improve their communicative English including speaking skill. The TOEIC test doesn't cover the speaking skill but the data released from TOEIC service international shows correlation between listening ability and speaking ability. That is, if a student is skillful in listening, he/she will be also skillful in speaking. So, we don't have to worry about this.

If we introduce some teaching materials made for a specific English proficiency test into the English classes, it will mean a sort of biased education and consequently help a specific testing association. That's why the teachers hesitated to use the TOEIC materials in their English classes. There are no specific guidance or instructions to the teaching for institutions such as universities, junior colleges and Kosens. As for STEP, Monkasho authorized the test in early 90th and some teachers started

to use the STEP materials for their communicative English class from then on. The textbook, for example, is aimed at the second grade of STEP for both listening practice and reading practice. As for TOEIC, the TOEIC test was authorized by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Hereafter Monkasho) in March 1999, has accelerated the tendency. This satisfied the requirements for accreditation. This fact may have led the rapid increase of the student examinees at universities, junior colleges and Kosens. The authorization of TOEIC has surely encouraged the teachers to introduce the TOEIC materials into class.

6. CONCLUDING REMARKS

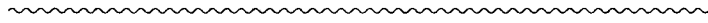
As is surveyed above, the TOEIC test is clearly qualified as one of the best materials for international communication. When you study English, you naturally want to communicate with foreigners in English. If you take TOEIC practice course and you make some progress in the TOEIC test, you will have confidence in English ability. The confidence will play a vital role in English study. Effectiveness and usefulness of the TOEIC test is confirmed, but the problems of evaluation of the students and accreditation of the TOEIC test remain. Some universities have already accredited the official TOEIC test. The authorization of TOEIC brought a lot of materials. Now TOEIC related textbooks are available at many bookshops. It's not difficult for the students to get these kinds of books. Most of them are for self-education. It is acceptable that in accordance with the tendency, many English teachers are giving pragmatic classes by using TOEIC related materials. I have been developing TOEIC centered class to the 4th and 5th year students these two years. I would like to report advantages and disadvantages of using these materials and also their effects on the students motives for English

^{vi}宮原文夫, 村上隆太他:「このままでよいか大学英語教育」(1997) 松柏社, p.156

learning on the next occasion.

References

- 1) Tetsuji Machida et al. *TOEIC Practice for College Students*, TOKYO, Asahi Press, 1998
- 2) Takemi Yokoyama, et al. *Strategy for the TOEIC Test*, TOKYO, Asahi Press, 1999
- 3) *TOEIC Test OVERVIEW*, The Institute for International Business Communication, 2001
- 4) *TOEIC NEWSLETTER 74*, The Institute for International Business Communication, 2001
- 5) *Textbook of Technical Communication Seminar for English Teachers*, Japan Society for Technical Communication, 1999



一般論文

中世後期真宗聖教論への手がかり
—「御文」とは何か—

松 尾 一

On the Complication of the Ofumi (御文)

Hajime MATSUO

問題の所在

前稿「『御文』の史料化をめざして」において、私は蓮如が生涯をかけて述作した「御文」の史料的性格を「一紙法語」と定義づけた¹⁾。「御文」の史料的性格を「一紙法語」とした事情は、従来の「御文」研究のように、「御文」を「手紙(消息)」として、つまり、「書状様文書」として扱うと理解しにくい事例があり、しかも、「非書状様文書」と考えるべき「御文」が、現在に伝来する自筆「御文」に占める比重も高いと判断したからである。そして、「御文」は、「書状様文書」の範疇ではなく、中世真宗聖教の系譜において史料的な位置付けを与えるべきであると考えた。

「御文」を中世真宗聖教の系譜に置き「一紙法語」としたのは、自筆「御文」約60点中において、冊子が2点(11通)、掛軸が7通と、明白に門末への授与を目的として製作された自筆「御文」の比重が、一紙に製作された自筆「御文」より高いと判断したからである²⁾。つまり、「書状様文書(手紙)」の形態をとらない「御文」(掛軸・冊子)も、本来は一紙ごとに製作される「御文」の一形態として、蓮如在世中の本願寺教団においては、聖教として機能していたという主張であった。前稿においては、自筆「御文」中において、「書状様文書」として「御文」を位置付けた場合に、料紙というよりは設えが掛軸・冊子の「御文」が、「書状(手紙)」として考えると規格外となるので、こうした「御文」群の位置付けから「御文」の史料としての特色を考えた。ために、料紙と設えからは「書状様文書(手紙)」として位置付け、自筆「御文」の中で、一紙ごとに製作されたと考えられ、まさに様態からも「手紙(消息)」としての特色を有するという「御文」については立

ち入らなかった³⁾。

小論では、前稿に引き続いて「御文」を「一紙法語」、一紙に仕立てられ、「法語」を書き付けた＝一通(一話)ごとに製作される「法語」(聖教)と考える根拠を示していくこととなる。ここで、特に意識すべき論点としては、①「御文」に据えられた花押の問題、②「端書」・「為書」・「後書」の役割、③「アナカシコ」文言の意味と役割、④「御文」の原初的形態、⑤聖教としての「御文」の成り立ち、の4点を中心に論議していくこととなる。

一 花押が据えられた「御文」(1)
—予備的作業—

岡村喜史「蓮如自筆『御文』と『御文』流布の意義」によれば、現存する蓮如自筆「御文」は60通を数えるが、このうち門末への授与(下付)を目的とした製作されたと考えられる自筆「御文」は23点があげられる、とする⁴⁾。23点にわたる授与を目的としたという判断材料を、具体的な論議に入る前の「予備作業」としてあげおくと、①「御文」本文中に訂正・抹消・書込みがなく、筆跡も丁寧である、②使用される料紙は、反故紙の裏や雑多な料紙を張り合わせたものではなく、当初より「浄書」を目的としたと目される詠えをしている、③蓮如の「花押」が据えられている(12点)、④「掛軸」に仕立てられている(8点)、⑤「冊子」の書写「御文集」に、蓮如が書き与えた(3点)⁵⁾、というものである⁶⁾。

まず、23点の授与を目的とした自筆「御文」のうち、「書状様文書」としての形式を具有しているのは、「御文」に花押が据えられている16点である。このうち、4点は後述の理由から除外すべきである

と考えるが、とりあえず概要を示しておく、①授与された「御文」への加署ではなく、草稿本・手控本に加署されたもの。(1点) ②あるいは、後世において、自筆「御文」の権威=宝物性を高めるために、これも自筆の「花押」が「法語」の部分である本紙に、何処からか切取った花押部分が添付されている。(2点) ③さらに、授与された「御文」に関連すると目される関連文書(「法名状」)が、花押を欠く本紙下部に紙幅を合せ貼付され一紙に仕立てられたものもある。(1点) といった具合である。

自筆「御文」手を加えてまで、所蔵「御文」の権威を高めようとする背景は、製作当初より、「御文」には、阿弥陀如来の仰せ、「御文は如来の直説」「といったように「聖教」として扱われていた。さらに、中には自筆の「御文」授与を熱望する門弟もいたこともよく知られているから、自筆「御文」の証拠となる花押が据えられた「御文」の価値はそれだけ高いということになる。ゆえに、花押部分が本来どのような文書に存在したのかは判然としないが、少なくとも、自筆の証明ということであれば、切断された側からみても貴重な花押の部分を転用するだけの価値があると「貼付」された時期に判断されたことになる。

授与を目的として製作された自筆「御文」23点中において、11点は花押を欠くが、このうち、8点は「掛軸」用に誂えられたものであり、2点は「冊子」に書かれたものである。つまり、授与を目的とした自筆「御文」においては、「掛軸・冊子」本でないかぎり花押が据えられ、多くは「あなかしこ」の書止文言をもつということになる。つまり、年月日・花押となっている次に、もうひとつの予備作業として、総計16点が存在すると考えられる花押が据えられた「御文」のうちで、授与された「御文」で花押が据えられた例とはできない、として除外した4点分の根拠の提示である。

第一に検討するのは、「伝へ聞ク人ノ名ハ字ハ」章(文明4年12月28日付、「諸文集」No.255、小松市本光寺)である。この「御文」は、「伝へ聞ク人ノ名ハ字ハ主ニヨルト…」から「旁以殊勝ノ坊号タルモノナリ…」までの、「慶恩房」という房号に対する由縁を述べた法語部分(「御文」と、「法名 釈蓮慶」から「文明四季極月廿八日 釈蓮如(花押)」の法名・坊号・実名の書き出し(「法名状」)の部分から成り立っている。

この「御文」は、「御文」と「法名状」の部分が貼りあわせられ一つの「御文」に仕立てられている。

つまり、上部の「御文」の部分には年月日・花押は存在しないことになり、「伝へ聞ク人ノ名ハ字ハ」章は無年紀ということになる。ただ、この「御文」は一具えに仕立てられる際に、料紙に相当の手が加えられた可能性もあり、「御文(法語)」部分にもとより花押が存在しなかったとは断定できない。また、「御文」と「法名状」が同時に授与されたものと考えられるから、「御文」に加署を加える必要がなかったと判断したとも推測でき、後世に両者が一具のものであり、「御文」と房号を寺院の由緒として強調したとも推測できる。ゆえに、「伝へ聞ク人ノ名ハ字ハ」章は、授与を目的として製作された「御文」と考えることが妥当であると考えられるが、後世に手を加えた本と考え除外した。

次に、「文明八歳丙申林鐘上旬二日ニモ」章(文明8年6月2日付、「諸文集」No.94、奈良県本善寺)である。この「御文」は、「于時文明八年六月二日筆ニヒマアリシ時書之畢」、「六十二歳(花押)」という年紀・花押が存在するが、以下に述べる理由で授与を目的とした「御文」とは考えない。同章の本文中には、例えば、「オカシヤオウオウ」という書止文言を抹消したり、「オヤノトシトオナシキイキハナニカセン」という挿入が存在したり、その他にも抹消・挿入・訂正の箇所が多く「浄書」とは考えにくい。また、料紙も8紙が継がれ、切れ端を繋いで一紙に利用したという感が強い。しかも、料紙の左上の袖には、メモのように「観仏本願力、遇無空過者」という世親(天親)「浄土論」の2句が縦書きでから左に引文されている。このことから、同章は、一紙で製作された草稿本か手控本の類と目される。そして何よりも問題なのは、年紀と花押の存在であるが、仮に、蓮如が草稿本・手控本を何らかの事情で授与したとは考えにくい。仮に、草稿本・手控本を授与したとすれば、その旨の追書・端書が存在したり、花押も丁寧に加署されるものと考えられるが、同章にはこうした気配を感じさせる形跡はない。とすれば、年紀も花押も、当初よりこの「御文」に存在したというよりは、草稿・手控として製作された「御文」に花押が据えられたものと考えられる。

つまり「文明八歳丙申林鐘上旬二日ニモ」章は、授与のために製作(浄書)された同章を記憶するために「手控」本として製作されたものと考えられる。ゆえに、据えられた「花押」も授与した状態を「手控」したものであり、このため「在判」とか「花押」と記すのではなく、原本の「手控」として略しながら

らも花押が据えられたものと考えられよう。ゆえに、岡村喜史の筆跡が全体のみならず、六十二歳（花押）の部分まで簡略な感を与えんとする指摘に納得が行く⁷⁾。ために、同章は、「于時文明八歳林鐘上旬二日筆ニヒマアリシ時書之畢」という年紀を表す「後書」と、「六十二歳（花押）」を持ちながら、授与された自筆「御文」とすることは難しいものと判断した⁸⁾。

三点目は、「文明三年初秋初旬之比」章（「諸文集」No.10）である。まず使用されている料紙が8紙にわたり長短の紙片を繋ぎ合わせ一紙とした問題である。授与を目的とした「御文」の料紙としては問題がある。ただ、料紙に比較すると「文明三年初秋初旬之比」章の本文は比較的丁寧に製作されているので、同章を授与を目的とした「御文」でないという理由をもう少し詳しく述べておく。

同章の年紀は「文明三七十六日」とある料紙右袖の小文字の「端書」より判明する。この「端書」により同本は、授与目的ではなく「手控本」と考えるのがふさわしいことがわかる。つまり、同本の年紀を示す「端書」は、「手控本」が作成された歳に、当初に授与した年月日を備忘的に右袖端に書き記したものであるということになる。このことを裏打ちするのは、同じく同本の手控本から書写されたと考えられる「西光寺御文」集には「年紀」ではなく、「加州二俣ニテ」と製作か授与の場所が、書き出しの「文明八歳丙申林鐘上旬二日」という本文の右に、蓮如の自筆で注記（「右注」）されていることからわかる⁹⁾。この「右注」は、「文明三年初秋初旬之比」章、料紙右袖の小文字の「端書」と同様に授与・製作の時期・場所を記録する役割を持ったものと考えられ、同本は授与した「御文」＝「浄書」本の手控ではないかと考えられよう。同章が、授与した「御文」＝「浄書」本からの「手控本」であるという推定を暗示するように、同本の本文への抹消・訂正・書き込みなどは少なく、「比子細ヲ能々御分別」の「能々」と抹消している程度である。そして、肝心の花押の部分は、この部分のみが料紙自体が本文の左端に貼付され、しかも年月日も欠いて、本文と花押が元は別個に存在したものであることを示している。

4点目は、「当流安心ノオモムキハ」章（「諸文集」No.234、石川県光徳寺所蔵）であるが、この同本の現状は、末尾に「光徳寺御房（花押）」の部分貼付されている。宛所・花押の部分の料紙が貼付されたものであることは、同本の本紙への継目からわ

かり、また、本文の内容も、「光徳寺御房」という宛所とは無関係な、「法語」部分のみで構成される「御文」である。つまり、同章は、後世の何れかの時期に、蓮如自筆「御文」が必要になった時に、「光徳寺御房（花押）」とある文書の一部を切り取り貼付したものであろう。

「文明三年初秋初旬之比」章、「当流安心ノオモムキハ」章の貼付された「花押」部分で興味深いのは、両者とも花押は蓮如の筆跡であるという点であり、このことは、何らかの蓮如自筆文書から切り離れたわけあり、いわば切り離された側は「宝物」としての価値は低下するわけである。もとより、蓮如の花押が据えられた「御文」は現在で12点と稀少であり、例を赤尾道宗に宛てた「御文」からもわかるように、花押の存在が、その「御文」の宝物としての価値を昇華させていたことが判明する。

以上の通り、4点は花押が据えられた授与された「御文」から除外し論議を進める¹⁰⁾。

二 花押が据えられた自筆「御文」(2)

—授与された「御文」(1)—

授与を目的として製作された「御文」は12点であるが一覧しておく。

表1 花押が据えられ授与された「御文」一覧

No.	年・月・日 (年紀)	書き出し	所蔵者
1	文明5・9月 (下旬)	端書云、右斯文トモハ、文明第三の比…	珠州市西光寺
2	5・12・8	抑今度一七ヶ報恩講のあひたにおひて…	東本願寺
3	5・12・8	抑今度一七ヶ報恩講のあひたにおひて…	金沢市専光寺
4	5・12・21	抑先年前住任在国ノトキ…	石川県林西寺
5	6・6・21	夫親鸞聖人ノ一流二ソノ名ヲ…	富山市光慶寺
6	6・11・21	情以吉崎ノ当山ニヲイテ…	滋賀県慈敬寺
7	12・6・18	抑三河国ニ於当流安心…	広島県常念寺
8	明応5・閏2・28	チカコロノ事ニテヤアリケン…	富山県道善寺
9	6・10・14	夫親鸞聖人のすゝめまします…	東本願寺
10	6・10・14	夫親鸞聖人のすゝめまします…	奈良県本善寺
11	6・10・24	一 法蔵菩薩ノ五劫兆載ノ願行ノ…	奈良県教行寺
12	7・11・19	当流の安心トイウハ南無阿弥陀仏…	松任市浄土寺

ということになるが、花押が据えられた授与を目的として製作された「御文」12点の特色を分類すると、次のような興味深い論点が浮かび上がってくる。①本文の内容、年・月・日が同一の「御文」が2章存在、(4点) ②蓮如から直接に授与者に下された「御文」にも花押が据えられる(1点)、③冊子に設えられた書写「御文集」の「端書」の書止文言が「アナカシコ」となり、「釈 蓮如(花押)」となっている。(1点)、④過去に授与した「御文」に、改めて授与した経緯と年・月・日(年紀)を「後書」し授与している。(1点)、以上が、花押・年紀を有し授与を目的として製作された自筆「御文」のうち、その性格を考えるうえで興味深いと考えられる4点であるが、次に個別に考察して行く。

まず、授与を目的とした「御文」のうちで注目しなければならないのは、文明5年12月8日という年紀を持つ「抑今度一七日報恩講のあひた」章である。同章の内容については、再三にわたり論議したことがあるので、小論との関わりの論点のみ述べておく¹¹⁾。同章は、書止文言が「あなかしこ」となっていることと、「五十八歳」と年齢を記した後に花押が据えられていて「書状様文書(手紙)」としての形式を具有している。つまり、「抑今度一七日報恩講のあひたにおひた」という書き出しからはじまり、「こころうくべきものなり、あなかしこ」と結び、「掟」に関する「後書」と和歌、続けての「追書」で授与の経緯・年紀を示し「花押」が据えられている形式をみれば、「書状(手紙)」に分類する根拠はなにもない。ところが、小論で問題にしようとするのは、同章には、本文・追書とも文言が異なる2本の自筆本が存在するばかりではなく、蓮如の生存中あるいは没後数年間に書写されたと判断できる写本が複数の存在が指摘できる。これらの写本の定本は、現存する自筆の同章とは異本・類本を定本としたものと考えられ、少なくとも5つの系統の同章の異本・類本が製作されたものと判断される¹²⁾。また、蓮如は同章を最低6本製作し、授与したことが現存の自筆本と写本から推定できる。

さて、ごく一般論で考えて、「書状・手紙・消息・往来…」は、当事者同士がある用件を伝えるために製作される私信を意味し、どれだけ製作されたのかという数量の問題ではなく、基本的には個人あるいは機関との一通・一話の往来である。ところが「御文」を往来として理解すると、この範疇に当て嵌まらない場合がほとんどあるということに気づく。そればかりか、通常の場合において「御文」は、蓮如

の側の判断で「御文」が述作される場合が大方であるから、不特定の「門徒中」に呼びかける、あるいは言うて聞かすように授与される場合が多い。例えば、現在において「御文」の定版のようにいわれる無年紀の「聖人一流」章(「諸文集」No.187)・「末代無智」章(「諸文集」No.210)、「白骨」章(「諸文集」No.223)などは、全門末に宛てて授与された「教章」である。「教章」(聖教)である「御文」を受けた側の坊主・門徒は、<自信を問う>ことでしか蓮如に返事をする事ができないわけである。「聖人一流」章や「末代無智」章のように、いわば真宗教学における普遍的課題への「法語」ではなく、なんらかの問題や事件にふれて述作された「御文」であっても、内容に<普遍性>が存在する場合は繰返して授与される場合もある。

「夫親鸞聖人ノ一流ソノ名ヲ」章(「諸文集」No.49, 自筆, 珠洲市正福寺所蔵)は、同章の草稿か手控と考えられる蓮如自筆異本である奈良県本善寺本の「端書」によると、文明5年12月12日に「聖教ヨミノワロキヲナラサンガタメ」(「諸文集」No.48)に述作され授与したたものである。同章は、約半年後の文明6年6月21日に「参河国式(志貴) 莊八良左衛門入道真慶所望」(「諸文集」No.50, 自筆, 富山市光慶寺所蔵)により改めて製作・授与している。従って、光慶寺本の「後書」の示しているところは、同じ内容の「御文」が同期に複数製作授与することがあり、また、時期を離れて多期間にわたっても製作・授与されたことがわかる。このことから、「抑今度一七日報恩講のあひた」章は、文明5年12月8日、つまり同年の「報恩講」終了後に、先の「報恩講」で<自信を問う>当流の信心をいただいたはずの「多屋内方」に対し、改めて宗旨の肝要を説いたということとともに、他の意味も持っていたことになる。これは、同章が後世の本願寺教団で「おさらへ」章と呼び習わされる理由にもなるが、ひろく門徒に対して「報恩講」を機縁にして、<自信を問う直す>ことを勧めた「法語」として授与された。

つまり、「抑今度一七日報恩講のあひた」章は、「多屋内方」を対象として述作されたことを「縁」とした普遍的な内容を持つ「法語」として教団内に流布したことになる。従って「御文」は、当初の授与時は個々の問題への対機説法であっても、ひとたび門末に授与されると、全人々対象の蓮如の説法として繰返し授与されたわけである。とすれば、「御文」の本質を「書状」・「往来」・「手紙」であると理解すると、ここで検討した「御文」群は規格か

ら外れた例外的存在とするか、理解不可能な存在になってしまう。このことは、次に検討する明応 6 年 10 月 14 日付の「夫親鸞聖人のすゝめまします」章（「諸文集」No.151、東本願寺所蔵）でさらに鮮明になる。

さて、「夫親鸞聖人のすゝめまします」章で興味深いのは、①授与を目的として製作されたと考えられる同本が 2 本存在、② 2 本とも使用された仮名遣いは「平仮名」、③月・日、花押が据えられているはあるが、内容は全くの「法語」であり、用件を伝えるような内容は見られない、という 3 点である。このうち、同本が奈良県本善寺に所蔵（「諸文集」No.152）にかかり存在するが、両本とも授与を目的として製作された「御文」である。同章が複数製作され授与されたことを示すが、同時に「手控本」も製作され、繰返し授与されたものと推測することができる。事実、兵庫県教行寺所蔵「御文集」（名塩本）には、「アツラヘシ 文ノコトノ葉…」という和歌を収めていて、何本か同章が流布したことがわかる。

次に、「夫親鸞聖人のすゝめまします」章は、年・月・日と花押、さらには「あなかしこ」文言の存在がなければ、およそ「御文」という蓮如が繰り出した「文書」群が存在しなかったら、古典籍の一種として宗教的な「聖教」＝「法語」という分類すべきと考える。つまり、「法語」部分に年紀（年・月・日）と花押を据えたのは、同章が、授与された門末の側にその必要性があったのではないか。同章を授与された門末側が、法義を聴聞するための拝読用「聖教」として取り扱ったと考えられるが、その際に聴聞する側の門徒中に対し、この「御文」が間違いなく「御文」を通じて語られる蓮如の「法語」であることの証明として、授与の年紀と花押が据えられたと考えられはしまいか。とすれば、同章における年紀・花押の役割の問題は、蓮如在世中から「前住上人の御安心も御文の如く、又諸国門徒も御文のこたく信をえられよとの支証のために御判なされ候」（「実悟旧記」237条¹³⁾と、蓮如生前より実如の「証判」により「御文」が複製され授与されたことも含め、蓮如没後には歴代宗主の「花押」が据えられた「御文」が「証判」本として流布して今日にまで至っている事実を念頭に置くとう理解しやすい。

つまり、本願寺教団において証判された「御文」を所持するということは、本願寺相伝の伝統聖教として授与されていることを意味することになる。そして、蓮如の場合は、自身の授与した「御文」に花

押を据え「聖教」化を図ったということになるが、無論、受ける門弟の側にも、自筆のうえに花押が据えられた「御文」が特段の宗教的権威を持って受け入れられていたことも重要である。

以上のように考えると、「夫親鸞聖人のすゝめまします」章はその書札からみれば、「書状様」文書ではあるが、授与の目的・授与の方法・授与先での機能を考察する限りにおいて、蓮如の「法語」を一紙に仕立てた真宗「聖教」という位置付けをあたえるのが穏当のように判断できる。

三 花押が据えられた自筆「御文」(3) — 授与された「御文」(2) —

「端書云」章（「諸文集」No.37）は、冊子本（「西光寺御文集」＝下間安芸蓮崇書写本）に書かれ授与されたいわば特異な「御文」である。「端書云」章も、前稿において述べたところがあるので、小論の関わり部分のみ述べて論議する。

「端書云」章で興味深い点は、冊子本の「端書」として蓮如が書写したものに、「アナカシコ」という書止文言が存在する点である。そして、この「本文」に続けて「于時文明第五九月廿三日～斯端書蓮崇所望ノアヒタ同廿七日申剋」に書したという、授与の経緯・日時を認めた「後書」と、「釈 蓮如（花押）」となっている。つまり、消息風の「端書」を下間安芸蓮崇が書写した「御文集」に蓮如が手ずから与えたことになる。「端書云」章は、活字に組んだ史料集をみる限りにおいては、「手紙」として分類される要件を具有して「書状様文書」とするのに何ら差し支えがなかろう。ところが同章の料紙は、当初より「冊子」に仕立てるために厚地の楮紙を使用しており、様態の面から考えても、「書状」の類と位置付けるのには一手間かかろう。しかも、「端書」に引き続いて「御文集」となっている様態からしても、同章自体が下間安芸蓮崇の書写「御文集」への「端書」としての機能をなしているとみることができる。

また、「西光寺御文集」中には、かなり長文にわたり丁寧に経論章疏から典拠を示して、その訓釈にとどまらず例話・感話を交えながら俗耳に入りやすくしつつ宗旨の肝要を説く、「法語」として完結させたものも含まれる。ところが、「西光寺御文集」中には、「法語」中に例話・感話を展開せず、「法語」の典拠と解釈をとりまとめ、経論章疏の「聞書」風の蓮崇書写の「御文」3点存在している¹⁴⁾。「西光寺御文集」の「端書」は、多様にわたる「御文」を

述作したところの意味を解説したものと推測できよう。従って「端書云」章は、同章自体が「西光寺御文」集へのまさに「端書」であって、総じていえば、真宗聖教の範疇で考えていくと、後項で述べる「識語」と位置付けるのが相応しいと考えられよう。

「識語」と考えたほうが相応しいということであれば、「後書」により文明6年6月21日という年紀が判明している「夫親鸞聖人ノ一流にソノ名」章（「諸文集」No.50富山市光慶寺）が注目される。同章に花押も据えられ、「後書」により参河志貴莊八郎左衛門入道真慶に授与されたものであることがわかる。同章には、同じく自筆「御文」の異本・類本として、「端書」を持つ奈良県本善寺本（「諸文集」No.48）、無年紀で本文のみの珠洲市正福寺本（「諸文集」No.49）が存在する。また、蓮如「手控本」を「スキウツシ（透写）」した本と考えられる「行徳寺御文集」にも異本が存在する（「諸文集」No.47）¹⁵⁾。

そして問題なのは、同章の異本3本を含めた「夫親鸞聖人ノ一流ニソノ名」章の最初に授与し年・月・日である。これは、「本善寺本」の「端書」にみられる「文明五十二月十二日書之、是ハ聖教ヨミノワロキヲ、ナラサムカ為也」（「諸文集」No.48）から判明する。元来「御文」は一紙ごとにその場の必要に応じて製作されることを基本にするから、時機に応じた主題が選択されることが多いことになる。ところが、「御文」は時機が変化した場合は用済みということにはならず、法義にとして普遍的内容を持つ、つまり、「聖教ヨミノワロキヲナラサムカ為」という目的・主題を超えた法義の肝要を伝える「法語」として、繰り返し授与されたということになる¹⁶⁾。

以上、授与を目的として花押が据えられた「御文」12点のうち7点を、「書状様文書」とすることには問題が多いと考え、真宗聖教＝「一紙法語」という位置付けを与えた場合の特色を考察してきた。ただ、なお「書状様文書」として扱っても不思議ではない残りの5点については、詳細な分析を加えることはしなかったが、以下で簡略に述べる理由で、何れも真宗聖教＝「一紙法語」という位置付けを与えてよいものと判断している。例えば、文明5年12月22日という年紀を持つ「抑先住在国ノトキ」章（石川県林西寺所蔵）の場合は、この本の文明5年12月22日という日付のみを見れば、この本は他に異本・類本のたぐいは見当たらず未見ということになる。ところが、「行徳寺御文集」に同章の異本・類本が存在

している。（「諸文集」No.53）

両本の主たる相違は、蓮如の「手控本」からの「スキウツシ（透写）」考えられる「行徳寺御文集」には年紀が存在せず、「文明第五十二月十九日コレヲカキテ荻生福田同行中へ」という「後書」が存在している点である。この「行徳寺御文集」の「後書」に従えば、12月19日付の「荻生福田同行中」へ向けた「抑先住在国ノトキ」章が授与されたと考えられる。従って、12月22日という日付を持つ林西寺本は、同章を3日後に改めて授与するために製作したことになる。また、文明6年12月21日という年紀を持つ「倩以吉崎ノ当山ニヲイテ」章（滋賀県慈敬寺所蔵）は、新潟県本誓寺所蔵の通称「高田本」（「諸文集」No.82）に同章が存在する。さらに「抑三河国ノ国ニヲイテ」章（広島県常念寺所蔵）も、「高田本」に同章（「諸文集」No.115）が存在する。ゆえに、両本とも複数が製作・授与された可能性の痕跡が判明してくる¹⁷⁾。

以上のように考えると、年・月・日を記し花押が据えられた授与を目的とした「御文」は、その「書状様」という形式に関わらず、授与の目的、あるいは授与先での機能をみる限り、中世聖教の系譜を引く「一紙法語」として位置付けるのが妥当ではないか。

四 「平仮名」の自筆「御文」

蓮如没後の本願寺教団において「御文」は、歴代宗主の「証判」本として聖教として流布していくが、使用される仮名文字は「片仮名」に定着して行く。後世の本願寺教団において、例えば『紫雲殿由縁記』の円如編纂説の如く、「御文」は「片仮名仕様」の蓮如消息と理解されたようであるが、実際には、自筆「御文」60点を検討すると15点が「平仮名」本である。意外に、自筆「御文」中の「平仮名」本の占有率は高く、その機能と意義を考える必要があると思われる。

前稿において、平仮名で製作された「御文」について、人びとに読み聞かされる形で披露される「聖教」として考えたことから「公開性」の高さと、あるいは印象的に「平仮名」使用であることを「女性向け」ではないかという仮説を論じた。これは、検討した蓮如自筆「平仮名」本が、いわゆる「おさらへ」章であったり、料紙の仕様「掛軸」用と考えられたりしたための推定であった。つまり前稿における仮説の根拠は、検討した自筆「御文」が、「女人往生」を主題にした「法語」で構成されている、だ

表2 自筆平仮名「御文」

No.	年 紀	書 き 出 し	所 蔵
1	文明5・12・8	抑今度一七ヶ報恩講のあひた において…	東本願寺
2	文明5・12・8	抑今度一七ヶ報恩講のあひた において…	奈良県本 善寺
3	文明10・2・4	当流門人之可存知次第	京都市常 楽寺
4	明応6・10・14	夫親鸞聖人のすゝめまします…	東本願寺
5	明応6・10・14	夫親鸞聖人のすゝめまします…	奈良県本 善寺
6	明応7・12月日	それ五障三従の女人たる身…	貝塚市旧 願泉寺
7	無 年 紀	それ一切の女人の身は…	富山県井 波別院
8	無 年 紀	それ一切の女人の身は…	富山県行 徳寺
9	無 年 紀	それ八万の法蔵をしるといふ も…	金沢市善 性寺
10	無 年 紀	夫八万の法蔵をしるといふも…	金沢市本 泉寺
11	無 年 紀	抑男子も女人も罪のふかきを…	西本願寺
12	無 年 紀	抑男子も女人も罪のふかきを…	大谷大学
13	無 年 紀	抑男子も女人も罪のふかきを…	奈良県本 願寺
14	無 年 紀	いまの時の世にあらむ女人は…	奈良県本 善寺
15	無 年 紀	それ五障三従の女人たる身…	大阪府真 光寺
16	無 年 紀	信心獲得すというは第十八願…	山田清吉 氏

から女性を対象とした（女性向）、「掛軸」に仕立て人びとに披露する、だから公開を目的とした、といった直感的論議の域を脱してはいないただ、前稿以後に検討を改めて加え現在のところでは、以下に述べる理由で<当たらずとも遠からず>の仮説であったと考えている。

まず、「御文」における「平仮名」使用の<公開性>を考える素材として、「掛軸」をあげたのは、8点存在する「掛軸」本のうち7点が「平仮名」仕様という構成的比重からの判断であった。ただ、「片仮名」仕様の自筆「掛軸」本も存在するわけであるから、これがそのまま<平仮名>仕様の公開性>に繋がることは簡単にはいえない。ただ、「平仮名」仕様ということでは、「御文」と同時代の口頭伝承による宗教文芸の世界の中に目を向けると、奈良絵本や絵伝類の「詞書」の多くは「平仮名」で

る。公開＝口演を前提とした「口語り」のテキスト類は「平仮名」が使用されていたわけである。「形をみれば法然、詞をきけば弥陀」というように、「御文」の「平仮名」の使用も、拝読＝唱導用（受けてからすれば拝聴する）であるという「口語り」との機能の共通点と、読むべき「聖教」を見せる（受けてからすれば拝見する）という機能を重視した場合において、一種の「みせる（披露する）ための聖教」という側面が浮かび上がってくる。つまり「御文」は、視聴兼用の「聖教」ということになる¹⁸⁾。

ただし、蓮如没後において、「御文証判本」の定型化にともない、「証判本」の使用仮名遣いも「片仮名」に収まっていく。直接的には蓮如「往生」により、自筆＝蓮如「手跡」の生産が不可能になり、蓮如の「声と姿」を感得するという意味での「御文」の役割が終了し、「法宝物」としての価値に役割が転換したことも考慮しなければなるまい。この議論は、「証判本」における「片仮名」仕様の問題として考えていく必要がある。

次に前稿において、「平仮名」仕様が<女性向き>であると推論したのは、ごく一般的な印象として、平安期の女流文学における「平仮名」の使用を念頭においての論議であり、「平仮名」＝「女手」という判断を行なった。また、「女手」を振舞うことをその書式とした「女房奉書」も議論の前提にあった。女流文学と女房奉書のみならず、「平仮名」仕様の自筆「御文」16点は「法語」の内容の内容で分類すると8通存在している。そのうち「抑今度一七ヶ報恩講におひて」（「おさらへ」）章、「それ一切の女人の身」章、「いまの時の世にあらむ女人」章、「それ五障三従の女人たち」章、「それ五障三従の女人たる身は」章と、女人往生・女人成仏論を主題としたものが5通（7点）存在する。従って、「平仮名」仕様の「御文」において、女人成仏・女人往生を主題としたものが、「法語」の内容別に分類して8通中のうち5通、異本・類本も含めた総点数15点のうち7点ということになる。また、「掛軸」仕様の自筆「御文」中においては、「平仮名」仕様の「掛軸」本は7点で、女人成仏・女人往生を主題としたもの、「法語」の内容も含め1通づつ（計2点）存在する。

以上のような根拠で、「平仮名」仕様の「御文」を<女性向け>と判断したわけである。ただ、「平仮名」の使用が女性向けであるかということは、「御文」の傾向分析からだけでは、つまり、真宗史の問題のみならず、文字使用という日本文化・社会

における「文字」文化の問題を含むからである。とくに、「文字」仕様のジェンダーの問題に目をやれば尚更であり、「平仮名」仕様の「御文」は女性向という論議は、あくまで論議のための素材を収集したところにとどまり、今後の議論を提案したにとどまる。

五 「識語」としての「端書」・「後書」(1) — 役割から考える —

「御文」を中世真宗聖教のうち「一紙法語」と位置付けた場合、付されている「端書」・「後書(追書)・(追而書)・為書」が、いわゆる「識語」の役割を果たしていることに気が付く¹⁹⁾。この点については、前稿においてすでに論議したので、また、小論においても、論議の展開上に必要な場合、随所でふれてきた。ここでは、「識語」としての「端書」・「後書」の機能に絞って論議していく。

まず、授与を目的とした自筆「御文」のなかで、「識語」という位置付けを与えることができる「端書」・「後書」を列挙してみよう。

① 端書云

右斯文トモハ、文明第三之比ヨリ同キ第五之秋分マテ、天性コ、ロニウカムマ、ニ何ノ分別モナク連々ニ筆ヲソメオキツル文トモナリ、サタメテ文体ノオカシキコトモアリヌヘシ、カタカタシカルヘカラサルアヒタ、ソノ斟酌ヲナストイヘトモ、ステニコノ一帖ノ料紙ヲコシラヘテ書写セシムルアヒタ、チカラナクマツルシオクモノナリ、外見ノ儀クレクレアルヘカラス、タ、自然ノトキ自要ハカリコレエヲソナヘラルヘキモノナリ、アナカシコ、アナカシコ、

于時文明第五月廿三日ニ、藤嶋郷ノ内、林之郷超勝寺ニオイテ、コノ端書ヲ蓮崇所望ノアヒ(タ、同廿二日申ノ剋ニイタリテ筆ヲソメオハリヌ、

釈 蓮如(花押)〔「諸文集」No.37〕

② 文明第五十二月八日これをかきしるして、当山多屋内方にまいらせ候、このほかをなを不審の事候ハ、かさねてたつねとハせたまふへく候、

(一和歌二首省略—)

五十八歳(花押)〔「諸文集」No.44〕

③ 文明第五十二月八日これをかきしるして、当山多屋内方にまいらせ候、このほかをなを不審の事候ハ、かさねてたつねとハせたまふへく候、

五十八歳(花押)〔「諸文集」No.45〕

④ 文明第五十二月十二日書之、是ハ聖教ヨミノワロキヲナオサムカタメナリ、

〔「諸文集」No.48〕

⑤ 文明六年季六月廿一日參河国式庄八良左衛門入道真慶所望之間於此炎天拭老眼染筆訖

右筆蓮一満六十歳(花押)〔「諸文集」No.50〕

以上であるが、この5点に加えて、草稿本・手控本と目される自筆「御文」5点の「端書」・「後書」を抜き出しておく。

⑥ 夢中之文 〔「諸文集」No.5〕

⑦ コノ障子ノソナタノ人々ノカマハマヒラセサフラフノチノ年ニトリイタシテ御覽候へ、

文明五年卯月廿五日 書之 〔「諸文集」No.23〕

⑧ 于時文明八年六月二日第二、ヒマアリシ時書之畢

六十二歳(花押)〔「諸文集」No.94〕

⑨ 右此書ハ、当所ヨリ木原辺ヨリ九間在家ニ、仏照寺所用之子細アリキ出行之時、路次ニテ此書ヲヒロケテ当坊江物来レリ、アマリニ不思儀ナリシ間、早筆ニ書記之者也、

文明九年丁丙十二月廿三日云々 〔「諸文集」No.106〕

⑩ 文明十五年十二月廿五日申剋俄書之 〔「諸文集」No.129〕

以上、10点の「端書」・「後書」が考察の対象となる。「御文」の「端書」・「後書」の内容をおおまかに見ると、①「御文」述作の主題、②授与すべき対象、③述作・授与の年月日などである。

具体的な検討に入る前に、蓮如が記した<識語>について一瞥しておく。蓮如は門弟の求めに応じて、本願寺教団における伝統聖教の書写を行なっている²⁰⁾。その際に書写の経緯として、授与された聖教の中身や授かった者を記した後に、蓮如が署名したものである。1948年に宮崎圓遵が「蓮如識語集」に集約されたものであるが、この中よりいくつかの「御文」を考える場合において参考となるものを掲出しておこう²¹⁾。

⑪ 斯三帖和讃者、手原道場可常住物之間、依所望令書写者也、

于時享徳式季霜月廿二日

本願寺 蓮如(花押)〔「蓮如識語集」376頁〕

⑫ 時文案六歳五月十八日終筆功訖

右筆 蓮如(花押)〔「蓮如識語集」375頁〕

⑬ 右此和讃者教俊依所望令書写者也

長禄二年二月四日

釈蓮如(花押)〔「蓮如識語集」376頁〕

以上3点のうち、⑪は、授与聖教(三帖和讃のうちの正像末和讃と授与先(手原道場)と、道場の常住物とするという書写・授与の経緯、書写の年・月・日、⑫は、書写の年・月・日、⑬は、授与聖教(三帖和讃のうちの正像末和讃と授与先(坊主分)と、書写した年・月・日、のそれぞれが記されている。

これら蓮如の授与「聖教」への「識語」の内容・形式を、先に示した「御文」の「端書」・「後書」の内容を比較してみると、両者の近似性が見て取れる。つまり、「御文」の「端書」・「後書」の形式・機能

は、本願寺教団における伝統聖教書写の際に為書きされる「識語」の係累として考えてよいものと改めて確認しておきたい。

次に、こうした「識語」が必要となる事情を考慮しておかなければならない。親鸞・覚如・存覚…といった本願寺系の「聖教」ばかりではない。こうした「識語」が必要となる背景は、およそ伝統聖教は、当然のことながら、すべて書写本である。つまり、当然のこととして本願寺から宗派の公認の「聖教」とされるものの大多数は、本願寺系ではなく、他流のものばかりである。

そして、本願寺系以外の「聖教」を所持・使用する場合はどのような形でか、宗派の公認の「聖教」という証明を行なったはずである。また、本願寺系の「聖教」であっても、つまり正統な所持（相伝）であったのかも、問題視されたはずである。従って、「聖教」の授与される場合に「当流の聖教」であるという証明を本願寺宗主が行ったということになる。これは、単に「聖教」を管理するというだけで門末統制に利用したということだけではなく、書写し「識語」の際の「札銭」も大きかったと思われ、「御文」の授与も範疇にいれるべきであろう²²⁾。

これは、蓮如の代から中世で近くいえば存覚の「浄典目録」にはじまり、「御文 証判本」の製作、遠く言えば、近世の宗典編纂に、近代でも聖教全書編纂といったように、本願寺が宗派として活動する以上、常に宗派における正統な「聖教」指定と授与が行なわれたと考えられ、「御文」も一形態に入ると考えられる。

六 「識語」としての「端書」・「後書」(2)

—「端書」・「後書」を読む—

「御文」の「端書」・「後書」の役割は、これは「証判本」が成立してから役割は重要になるが、転写本・再稿本が作成された際に、当該の「御文」成立の由緒を示すのみにはとどまらない。それは、「御文」を授与された側が、どのように拝読・披露していたのかという問題にもつながる。

「聞書」類には、蓮如自身が「御文」を門弟に読み上げさせ、自ら「法義」を聴聞したという寓話を伝えている²³⁾。「御文」が真宗聖教として持つ意味は、蓮如自身が相伝したと主張したとする。「聖人一流」の法義を「御文」で門徒に説法したということにとどまらない。これも「聞書」に伝える寓話で知られているように、「御文」は蓮如の「ことば」を超越して、「聖人一流」の法義として、「阿弥陀如来、

宗祖親鸞、伝統聖教」の伝える真実の教え（真宗信心・安心の亀鏡）として伝えようとしたのではなかろうか。

このことは、戦国期本願寺の報恩講の「改悔」の後に、「御文」の拝読が行なわれていたことが、蓮如末子である順興寺実従の記した「私心記」にみられることも、その証左となる。また「私心記」には、日常の勤行後の「法談」後においても、「御文」の拝読が行なわれたことが記されている²⁴⁾。

従って、道場・寺院において法要・勤行の際に「坊主分」が門徒にたいし、「御文」を読み上げる前に行なわれるはずの「法談」の内容が、「御文」拝読の導入のようになっているのである。そして、「御文」に付されている「端書」・「後書」は、拝読する「坊主分」、聴聞する門徒にとっても、「御文」述作の背景・ねらいを知る為書きとして役立つものと考えられる。このためか、蓮如「御文」の選集・定本として授与された「証判本」の段階になっても、すでに用は足しきった「端書」・「後書」でも残されたと考えられる。

このように考えてくると、「端書」・「後書」の役割は、いわば「御文」の教学を形成するのに大きな存在であったと想定することができる。

では、「端書」・「後書」が「御文」を理解するに際して、どのような方向性＝枠を与えたのであろうか。無論、「御文」をどのように理解したのかという聴聞する受け手の問題ではなく、蓮如が「御文」に添付した読解の「手引き」としてである。例えば、文明五年十二月八日「御文」群である「抑今度一七ヶ報恩講」章は、本願寺教団では通称「おさらへ」章と呼び習わされている。「おさらへ」章は、『大無量寿経』第35願を題材として、本願寺教団最大の年中行事であり、蓮如は「自信を問う場」としての「報恩講」終了後に改めて「自信の問い返し」のあり方が述べられている²⁵⁾。

このことが、文明五年十二月八日「御文」群＝「抑今度一七ヶ報恩講」章を、「おさらへ」と呼ぶ所以である。そして、同章を読む際に「文明第五十二月八日これをかきて、当山の多屋内方」（前節、史料②③）へ授与したという後書が大切な役割を果たす。つまり「後書」には、「おさらへ」章を書き起した機縁と狙いが述べられているから、いふならば「由緒書」のような役割を果たしているのである。とすれば、「後書」を手引きとして理解する「おさらへ」章から、同時期に述作した、同年の多屋坊主の沙汰とした「報恩講」のあり方への「御文」まで

併せて読み理解しなければならなくなる。「後書」から窺い知れることは、同年の秋に蓮如が行なった本願寺「報恩講」確立への動きの第一段階のまとめとして、「おさらへ」章が占めた役割としての大きさが逆射される。

「おさらへ」章は、写本の検討から、また蓮如が再授与した場合も含め、さまざまな再授与（もっとも「証判本」はすべて再授与になる）が行なわれ、その際にも「後書」はそのまま継承されていった。従って、「おさらへ」章は、「後書」の存在により読み方に枠を架けながら、「大経」第35願と「報恩講」の意義を伝える普遍的な「御文」（真宗聖教）として流布したものと考えられる。

「端書」・「後書」が伝統聖教の書写に際して与えられる「識語」に当たると論議を、さらに首肯させる材料として「端書云」章（前節、史料①）が最適であろう。そもそも「端書云」章はというと、先にも述べたように下間安芸蓮崇が蓮如「手控本」を書写した本であるが、これに「端書云」と2通の「御文」、蓮崇書写分に注と補訂を書き与えたものと考えられる。（「西光寺御文集」）また、この「端書云」章は、「西光寺御文集」の「端書」として機能している。

ここで問題となるのは、「端書云」章が蓮如「手控本」に元来より存在したものなのか、新たに蓮崇書写に当たり書き起されたものであるのかという点である。この点について、「端書云」章を「西光寺御文集」との関わりから再度にわたり論議する。

「端書云」章は、「右斯文トモハ…自要ハカリニコレヲソナヘラルヘキモノナリ、アナカシコ」の本文と、「于時文明第五九月廿三日ニ…筆ソメオハリヌ 釈蓮如（花押）」の「後書」・「署名（花押）」の二つの部分から構成されている。このうち、「右斯文トモハ…」という本文の部分（原「端書」）が、もともと蓮如「手控本」に存在し、「于時文明第五九月廿三日…」から続く、「後書」部分が蓮崇書写部分に原「端書」に「アナカシコ」文言と「署名（花押）」が添付され「端書云」になったものと考えている。

この推定の根拠は、そもそも蓮崇の「御文」書写の方法が、蓮如の膝下で行なわれと考えられることもあり、書写の際の底本が蓮如「手控本」であったと推定できる。ゆえに、「西光寺御文集」のうち蓮崇書写分が、「手控本」より蓮如の直接指導を受けながら行なわれたと想定できる。

この2点を前提に「端書云」章を導入として「西

光寺御文集」を点検してみると、①蓮崇書写「御文」12通のうち、「アナカシコ」を書止文言としたのは、「抑当季ノ夏コロハ」章（「諸文集」No.23）のみである。しかも、同章の「アナカシコ」の筆跡は蓮如の筆と認められ、「後書」とともに蓮崇書写後に蓮如の手により添付されたものと考えられる²⁶⁾。②「端書云」章本文の「アナカシコ」文言は、本文を構成する「手控本」の書止に添付されたものと考えている。理由は、蓮如が作成した「手控本」を披見したのは、恐らく蓮崇ばかりではなく、門弟のうち限られた範囲であるが存在したはずである。蓮崇本を孤立した存在と考えないで、蓮如「手控本」には披見した人々への留意事項が記してあったと考えてよい。ゆえに、「一帖ノ料紙ヲコシラヘテ書写セシムルアヒタ、チカラナクマツツルシオクモノナリ、外見ノ儀クレクレアルヘカラス」と、「手控本」に為書したものと推定する。また、「チカラナク…」・「外見ノ儀…」・「自要ハカリ」といった語句の表現は、伝統聖教の書写本の「識語」にみられる謙遜の修辭とみれば、「端書」が二部構成になっているのが、「後書」は蓮崇書写に対しての経緯を記したものとして得心がいくこととなる。③蓮崇書写「御文」本文の右には、ほとんど総ての漢字・熟語にルビのような形で「フリカナ」がついている。その手は蓮崇のてによるものである。これは、同じく蓮如「手控本」からの転写で、方法が「スキウツシ（透写し）」である「行徳寺御文集」には、蓮崇書写本に比して詳細な「フリカナ」は存在しない。この「フリカナ」を付す作業は、蓮崇の「御文」に対しての学習成果というよりは、蓮如の指導による「手習い」といった性格が強いのではないか。また、右に付された「フリカナ」は、そのまま「御文」の読み方であるから、拝読に対する指南の意味も含んでいたと考えられる。④蓮崇本の本文左には、左注（左訓）として熟単語の意味を示す注記が施されている。この「左注（左訓）」の筆は、蓮如の手と判断できるものが数多く存在し、蓮崇の「御文」書写が学習的意味合いを持っていたことが窺われる。このことは、「御文」の拝読の前後に行なわれた「法談」に際して、「御文」を理解する助けとなったと考えられる。⑤「端書云」章は、一読すれば内容的に、蓮崇書写「御文集」への「端書」と理解できる。それを、「端書云」と、わざわざ記した理由も考えなければならぬ。通常に考えてみても、これは「端書」であると改めて記すことも異例と考えられるが、「端書云」と書くことはさらに何らかの意図のことと考えなけ

ればならない。これは、書止が「アナカシコ」としたため、書き出しが「右斯文ドモハ…」では結びの文言とじっくりいかない、そこで「端書に云う、右この文ともは…そなへらるべきものなり、あなかしこ」と、強引に消息風に整えたものと考えられる。⑥また、「後書」に書写の経緯を記すのも、「端書云」章の本文が、本来別個に存在し、後書と署名（花押）としてことも付け加え指摘しなければならない。「端書云」章は全体を読めば、一文で通して書いても不都合な体裁にはならない内容であり、これを二つの構成に書き分けるのは、「西光寺御文集」の底本の由来を示すためのものと考えれば納得がいく。という6点から考えて首肯できよう。

とすれば、「端書云」章の成立経緯が気にかかるが、これは「後書」にみえる9月23日に蓮崇から「端書」所望の願いが出されたということは、この日には、少なくとも、蓮如に手渡された日には、書写「御文」の本文部分は一応完成したことになる。そしてこゝの本文部分は、蓮崇は蓮如の膝下で「手控本」から書写を行なったわけであるから、当所の段階＝「手控本」には「左訓」・「右注」は存在していないと考えられ、蓮崇が「端書」を所望した9月23日は、本文のみの写本「御文集」の完成ということになる。

「端書云」章の「後書」によれば、蓮如が23日の端書所望から実際に筆をとるのは、27日の申剋（夕方）である。この4日間、蓮如は蓮崇から懇願された「端書」について、諸書した本を預かり置いてそのまましておいたとは考えにくい。蓮崇より書写「御文集」への「端書」を懇願された藤嶋超勝寺に滞在したした時期、蓮如は、蓮崇を始めとする吉崎一山坊主衆の指導に腐心していたし、また、越前巡回中には直接的にも「坊主分」・「門徒中」の異儀批判を行なったりしていたことは、この時期の「御文」の主題によく現れている。ゆえに、蓮崇のように熱心に学習する門弟の願いを放置するはずもない。とすれば、もともと「手控本」には詳細な「訓注」は存在しなかったと考えられるから、蓮崇書写「御文」に付された「フリカナ」と「注記」は、蓮如の指導でなされたものとするのが妥当である。とすれば、「訓注」を施した時期は、超勝寺滞在中の23日から27日の4日間に蓮如膝下で行なわれたと考えられる。

というわけで、いまのところ「端書云」章の成り立ちをまとめると、こんなところになる。まず、蓮如が、まさに必要に応じ「所々」に授与した「御文」のなかで、人々に「法語」として拝読、あるいは

「法談」の際の指針となるべき聖教として普及させるのにふさわしいと考えた「御文選集」の底本として「手控本」を誂えていたという推定が成り立つ。この「手控本 御文集」は、許された門弟の披見・書写の対象になり、披見に当たりその「心得」が記されたと考えられ、これがもともとの「端書」であった。「端書云」章は、蓮崇が許可された「御文集」（「西光寺御文集」）には、「端書」の書写を蓮崇が蓮如自筆で懇望したため、蓮如は、もともと「端書」を本文とし「端書云」と「アナカシコ」文言を添付し、書写の経緯を「後書」し署名（花押）を据えて授与したということになる。

このように「端書」・「後書」は、それぞれの本文にあたる「御文」への「識語」として機能し、「法語」の背景や成り立ち、「御文集」については由緒・経緯を記して、「御文」を読み込む＝聴聞する際の指針となったと考えられる。

七 「アナカシコ」と「恐々謹言」 —予備的考察として—

蓮如自筆「御文」の書止は実に多様である。ただし、従来の自筆「御文」の過半は草稿・手控であると考えられるので、授与された際の書止は別に考えなければならなくなる。そして、問題となる授与を目的として製作された「御文」の多くは、「アナカシコ」を書止文言とする。また、「アナカシコ」文言をとらない場合は、書止は消息風の文体で「法語」が述べられた後、そのまま言い切ったに「…云々」あるいは「…也」といった形で終わっているものもある。「御文」の中には、「法語」であるためか「書状様」、つまり「書札礼」を意識せずに終わっているものも多い。以下では、授与された「御文」の一般的な書止である「アナカシコ」の意味を考えていく。

では消息体を修辞方法とする「御文」と違い、本来よりの発給目的が往来であった「書状」における書止文言はどのようになっているのであろうか。現在、蓮如発給「書状」は約60点があげられており、そのうち40点が自筆であると考えられている。蓮如発給「書状」で使用された書止文言をわかる範囲で示してみると、次に上げ6通りであり、①恐々敬白、②恐々謹言、③謹言、④恐々拝々、⑤あなかしこ・穴賢、⑥慥請納候、である²⁷⁾。以上のうち、「恐々拝々」と「慥請納候」は、それぞれ1例のみで「恐々謹言」の範疇と、かたや、門末からの懇志受領に際して発給される「請取状」の仲間に入ってくると思われる。また、現在のところ判明している蓮如「書

状」は、書止が「恐々敬白」となっている高田専修寺に宛てた5通以外は、他宗派や公家・武家といった対権門交渉にあたって発給された「書状」類は写しであっても伝来しない。

従って現状では、顕密寺院のみでなく公武の対権門交渉を含めた蓮如期本願寺教団文書の発給形態の全体像をつかむことは現状では困難な作業であるといえる。本願寺が、対権門交渉用の「書札礼」集を作成していたことがわかるのは、16世紀に入り「証如上人文案」・「顕如上人文案」などが作成するのをまたなければならぬ²⁸⁾。

つまり、蓮如の「書札礼」は不明とせざるをえないが、ただ、『経覚私要抄』には「大谷法眼」（長禄3. 6. 4）あるいは「兼寿僧都」（寛正3. 3. 9）とみえ、『山科家礼記』には「大谷法印」とみえる。おおよそ、蓮如期本願寺は、公寺の権門からは、三綱の上座クラスの「僧の家筋」と認識されていたことがわかり、この寺院社会における地位に見合った「書札礼」をとっていたものと考えられる。ゆえに蓮如「書状」を扱う場合には、教団内に蓄積した文書であるということを念頭におかねばならない。稀少な例として、高田専修寺宛の5通が高田本山に伝来するが、この書止は「恐々敬白」となっている。この専修寺宛は「恐々敬白」と書きとめたことを、どのように考えるかであるが、おそらく本願寺と専修寺間の「書札礼」は、蓮如と真慧の双方の僧位・僧官から考えても等礼でよいと考えられるが、比較的蓮如が専修寺を厚礼に処したことがわかる。

こうした事情から、教団内に宛てた「書状」の書止は、大別して「恐々謹言」と「あなかしこ（穴賢）」に分けることができるが、それぞれどのような意味をもったのであろうか。まず「恐々謹言」は蓮如「書状」の半数以上を占め、日常において蓮如は教団内の個人・寺院・門徒団へあてた常用的書止文言といえる。では、「恐々謹言」は、どのような相手に対して用いられたのかというと、「弘安礼節」を中心とした古文書学の概論的な理解では、同格に対する書札礼ということになる²⁹⁾。ただ、「恐々謹言」が蓮如に対して同格の相手への書札礼というようなことは簡単にはいえないようである。というのは、現在に伝来している「書状」は、本願寺教団内へ宛てたものばかりであり、教団外とはいっても高田専修寺に宛てた5通は真宗他派との本寺間の交渉である。となると「恐々敬白」ということで、一見すれば蓮如が専修寺に対して謙っているようであるが、本寺間の交渉であるので、両本寺の間に紛争案件が

ない時期において、相手の本寺としての立場を尊重し「書札礼」を厚礼に取ったものと考えられる。

さて肝心の「恐々謹言」であるが、ほぼ全てが末寺の坊主衆か門徒中へ宛てた「書状」で使用されている。これも、高田専修寺宛「書状」が、本寺間交渉であるから同格で十分と考えられるが、本寺同士としての敬意の表象からか「恐々敬白」と厚礼風に扱ったと想定したことが応用できると考えている。つまり、門末に対しては本寺筋の蓮如からすれば、「書状」を差し出した相手が僧位・僧官をもとうが、あるいは無位・無官の地下人であろうが、同格を最厚礼としたとしても、あとは「謹言」であろうが、尊大に薄礼に「不一」であろうが、基本的に問題はない。もっとも、門末側から本寺へ差し出す場合には、「書札礼」に従ったとはおもわれるが。つまり、蓮如から「書状」を受け取る相手は、本願寺と本末関係を有する寺院・坊主・門徒であるから、相互の「礼」に関する取り決めも、末寺役の負担や寺院秩序の中で、本寺からの「遠近」等ではっきりしているものと思われる。

蓮如が「恐々謹言」を使用した事情を考えるに当たって、蓮如「書状」が受領先で基本的に「披露」の対象となるものが多かったことが重要ではないかと推定している。また、蓮如「書状」を所持したものは、基本的に保管し伝持しようとしたからこそ、自筆「書状」がある程度の数量が伝来したといえよう。泊清尚が「懇志請取状」という位置付けを与えようとした本願寺宗主発給文書がこの典型である³⁰⁾。例えば「六日講御書」・「六日講四講並所々御書」などは宗主の「御書」の写本であるが、「法義」文言を含む件が一文存在するものがあるにせよ本質は、「懇志」の「請取状」を本質とするが、それぞれの「講」が本願寺宗主より受けた「御書集」として集積された³¹⁾。

つまり、本願寺宗主蓮如から門末へ発給されたということであるから、「披露」を前提としての前提を持つものも存在する。「披露」を前提とする蓮如「書状」は、先ほども述べたように「講」中に蓄積された「懇志請取状」を代表として、寺院・門徒中宛てのものもおおよそ金品の受領に関するものが多い。すなわち、「此趣を能々可有披露候」（「諸文集」No.258）とか、「其分可被披露者也」（「諸文集」No.275）あるいは「よくよく惣中へ披露」（「諸文集」No.291）といった、「書状」の内容を関係者に周知させようという一般的な文書である。

教団内に宛てられた本願寺宗主からの「書状」は、

門末からの金品の収納夫役・宗教役勤仕に関わる褒美といった「披露」すべき内容が多いことはいうまでもない。従って、蓮如から「書状」を受け取った寺院・道場における坊主分は、「披露」に当たり宗主（ここでは蓮如）との入魂さを振りまき、種々にわたる門末の負担を納得させたものと考えられよう。

従って、蓮如が概して門末へ宛てた「書状」に対して、「恐々謹言」を書止文言としたのは、蓮如＝本寺からの門徒指導上の指示、懇志、礼の請取といった結果の「披露」が、受け手側において円滑に行なわれるように、同格の書止をとったのではなかろうか³²⁾。つまり、受信した側である「坊主」分が、下坊主衆・門徒中に対して「披露」することを前提とするから、蓮如からの懇ろなる指導を受けたという意識を与えるために、あえて同格と受け取れ、受け取った坊主・門徒が本寺から丁寧に扱われる書止として使用したのではないかということになる。

では、「かしこ」・「穴賢」を含めて、「恐々謹言」とともに蓮如「書状」の主たる書止文言である「あなかしこ」はどうであろうか。「あなかしこ」文言を持つ蓮如「書状」は、大別して、いわゆる「懇志請取状」と、蓮如と個人との「往来」に用いられたようである。この「あなかしこ」という書止文言を、室町期の一般的な書札礼を示した「書札作法抄」でみると、①仮名文字「書状」の書止、②主人から家人への「書状」の書止、である旨が述べてある。この「あなかしこ」文言の規準から蓮如「書状」をみると、懇志（金品）の請取に関わる「書状」は、仮名文字で作られた「書状」である。また、蓮如＝本寺から門徒組織ということであるから、宗主（主人）から坊主・門徒（家人）ということになり、一般的な「書札礼」定義に当てはめることができることが判明する³³⁾。

蓮如「書状」の「あなかしこ」文言の使用例からは、蓮如は室町期における「書札礼」に従いつつ、教団内の実情を踏まえながら、「恐々謹言」の使用例と同様に弾力的に運用していたことがわかる。次に、「書状」の書止例で検討した、蓮如の教団内発給文書への「書札礼」に対する姿勢、とくに「あなかしこ」文言の姿勢を前提に、「御文」における「あなかしこ」文言の問題を検討していく。

八 「あなかしこ」という書止文言 —「御文」での使用—

「御文」は「一紙法語」と呼ぶべき中世真宗聖教の系譜に位置付けられるべき「聖教」である。では、

「聖教」である「御文」の主流的な書止文言を「あなかしこ」とした理由はどのあたりにあるのであろうか。まず、蓮如が「御文」の文体、というよりは体裁を消息体とし、直接に受け手が宗主のことば（＝「法語」）を聴聞するという形をとったと考えられることが重要である。つまり「御文」、蓮如が仏法の真髓（「形をみれば法然、詞を聞けば弥陀」³⁴⁾）を直接に注入するというのであるから、説法を聴聞側が直に受領するということで「消息」体をとったものと考えられる。

この問題を考えるに当たって鍵となるのは、蓮如「手控本」から蓮崇が転写した「御文集」のうち、「あなかしこ」文言を持つのは、文字通りに同本の「端書」（「識語」）である蓮如自筆である「端書云」章の本文が「あなかしこ」の書止となっている分と、「抑当季ノ夏ノコロハ」章の2点のみである。ちなみに「抑当季ノ夏ノコロハ」章の「あなかしこ」文言は、蓮如自身の手で追筆されたものである。他に「西光寺御文集」の書止文言に「あなかしこ」は存在しない。「西光寺御文集」に「あなかしこ」文言が存在しない事情は、先ほども述べた如く、蓮如「手控本」からの転写であるからと考えられる。

以上の考察に、授与を目的に製作された「御文」の多くの書止が「あなかしこ」文言を有し、さらに、「書状様」の形態をとるものは判明する限りにおいても多くが「あなかしこ」文言を有している事実を加えて考えると、「消息風」の形態をとった「一紙法語＝聖教」としての体裁を整えるための「あなかしこ」であったと考えられる。

では、「あなかしこ」という文言自体を蓮如が選択した事情を改めて考察してみることにする。やはり、「御文」という「法語」なかには「消息文」と考えるには不都合な文体をつるのであるから、「消息風」とするためには、より「消息風」と受け取めさせる技巧を持ちいなければならない。そこで蓮如は、「あなかしこ」という、室町期の「書札礼」において「消息」として相応しい書止の中から、最も「御文」授与の際に適当であると考えられる文言を使用したものと考えられる。では、なぜ「あなかしこ」が適当であるという理由はどの辺りに存在するのであろうか。

一つには、「御文」が改めていうまでもなく「仮名法語」であるということである。これは、先に示した「書札礼」に照らし合わせていうと、仮名文字の「消息（手紙）」の書止は「あなかしこ」が相応しいということであり符合する。二つには、「御文」

の対象とする人々は、ひろく一般大衆への真宗の教えを宣布することを目的としたものではない。「御文」は、すでに本願寺教団に参入した門徒に対して、いわば宗旨の肝要を言って聞かすという目的で制作されたものである。

従って、「御文」は教団内への配布される「一紙法語＝聖教」を本質とするから、本願寺宗主と本末関係を有する組織を対象としたものであるから、「主人から家人」＝「宗主から坊主中・門徒中」という授与関係になる。ゆえに、「あなかしこ」が主人から家人＝宗主から門末に相応しい書止文言として選択されたものと考えられる。

以上のように、「あなかしこ」は、直接に宗主から門末へ「法義」を伝達、言って聞かすために、室町期の「書札札」を踏まえながら採用されたものと考えた。また、蓮如没後の「証判本」普及に際して、「御文」の書止は「あなかしこ」が徹底し、ついには書止文言が拝読の対象となったということになる。

問題の展望

以上、「御文」とは、どのような性格を持つ真宗「聖教」史料であるのかを、①花押、②「識語」、③仮名文字、④書止文言、の4点をから論議してきた。中途での論議の繰り返しは避けるが、ここで得られた展望は、「一紙法語」たる「御文」の性格を考えるに当たっての重要な視点は次のような点があげられる。

それは、「御文」を真実の「法義」伝える「真理のことば」とする際に、①真宗信心の亀鏡を示す中世真宗聖教としての体裁を整えるのに行なった装飾、②門末に宗旨の肝要をいって聞かすための「法語」としての権威化、③授与された門末側での「御文」による「法義」聴聞の運用方法、といったあたりの検討が課題となる。また、④「御文」を門末に流布・普及させるための拝読方法、あるいは⑤「御文」を拝読用「聖教」として扱った際の「儀礼」の形成、などがこれからの検討事項となる。いずれも稿を改めた検討課題となる。

参考文献

- 1) 福間光超先生遷暦記念会編『真宗史論輯』(1996年 永田文昌堂)。小論で、前稿とした場合は、「御文」の史料化をめざして」を示す。
- 2) 岡村喜史「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」(浄土真宗教学研究所・本願寺史料研究所編『講座 蓮如』第2巻 1997年 平凡社)。
- 3) 前稿の発表後において、「御文」を古文書学的に分析した論文は、早島有毅「本願寺蓮如の『教団』と戦国社会」

(浄土真宗教学研究所・本願寺史料研究所編『講座 蓮如』第1巻 1996年 平凡社)、大喜直彦「蓮如の書状・御文・裏書を考える」(『講座 蓮如』第2巻)、をあげることができる。

- 4) 『講座 蓮如』第2巻。
- 5) 前稿「『御文』の史料化をめざして」(『真宗史論輯』)、および、「1991年度龍谷大学仏教文化研究所共同研究(研究主任福間光超)『御文章』書写本の調査・研究」(執筆は遠藤一＝松尾一『研究紀要』31集 1991年)、「蓮如史料論への手がかり ―『御文』をどう扱うか―」(平松令三先生古稀記念会編『日本の宗教と文化』1989年 同朋舎出版)では、「行徳寺御文集」を、冊子本の蓮如自筆「御文集」とした。ところが、龍谷大学文学部岡村喜史氏より、「行徳寺御文集」は、道宗の手になる書写本である旨のご教示をえた。ちなみに岡村氏が作成した「蓮如自筆御文一覽」には「行徳寺御文集」は除外している。(岡村「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」『講座 蓮如』第2巻 136頁以下)。金龍 静「実如の生涯」(『実如証判 五帖御文(研究編)』(1999年 法蔵館)は、「行徳寺御文集」を、蓮如自筆本からの「スキウツシ(透写)」本と指摘する。
- 6) 小論で使用する「御文」は、特に断らない限り、自筆本については、堅田修編『蓮如上人御文』(1982年 同朋舎出版)、刊本については、『真宗史料集成』第2巻(1977年 同朋舎出版)を使用した。議論展開の便宜上、『真宗史料集成』第2巻を出典として示した。(『諸文集』のNo.を掲出した。)
- 7) 岡村「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」『講座 蓮如』第2巻 147頁以下)。
- 8) 「書状様文書」として「御文」を考えた場合でも、「文明八歳林鐘上旬二日」章(『諸文集』No.94)は、本文をかなり弄くっており、そのまま「書状(手紙)」として発給したとは考えにくい。ただし、刊本による限り「書状様文書」としての要件を具有しているように読める。
- 9) 下関安芸蓮崇が書写した「西光寺御文集」(珠洲市西光寺総門徒保管)には、「文明第三初秋之比」章(『諸文集』No.10)には、蓮如の手で「加州二侯ニテ」と、「注記」として制作当初の場所を書き込んでいる。
- 10) 授与を目的としない自筆「御文」(草稿か手控)は、本来ならば本願寺周辺にのみ伝来するはずである。ところが、現存自筆「御文」の所蔵を考えると、かなりの分量が流出したものと考えられる。岡村喜史は、その事情を「形見分け」・「真筆信仰」により本願寺から持ち出されたという推定を行なっている。岡村「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」『講座 蓮如』第2巻 151頁以下)。
- 11) 拙稿(遠藤)「蓮如史料論への手がかり ―『御文』をどう扱うか―」(『日本の宗教と文化』)。内容については、拙稿「蓮如教団における女性の地位と役割(一)―女人往生論を中心に―」(『仏教史研究』No.34 2002年予定)。
- 12) 異本・類本とするのは、単なる用字や字句のみではなく同内容を表現するにも、書き改めと判断しうほどの推敲のあとが確認できる。
- 13) 『真宗史料集成』第2巻、467頁。
- 14) 文明4年2月9日の年紀を持つ「御文」群である。『諸文集』No.14～16(『真宗史料集成』第2巻)
- 15) 「行徳寺御文集」の現況については、金竜教英「蓮如上人と赤尾道宗」(蓮如上人研究会編『蓮如上人研究』1997年 思文閣出版)。
- 16) 「諸文集」No.50の「夫親鸞聖人ノ一流ニソノ名」章(『真宗史料集成』第2巻)は、文明5年12月12日に授与された「御文」の再授与本である。
- 17) 両本とも、岡村「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」『講座 蓮如』第2巻 136頁以下)により存在を知った。

- 18) 「御文」を含め蓮如の宗教活動を、中世の口頭伝承文芸との関連で位置付け直す必要があると考えている。稿を改めて検討したい。
- 19) 「識語」という概念については、宮崎圓遵「真宗書誌学上における蓮如上人」(『真宗書誌学の研究』同著作集 5 巻, 1988 年, 永田文昌堂)。
- 20) 蓮如による真宗伝統聖教書写の特色については、平松令三「蓮如の聖教書写と本願寺の伝統聖教」(『講座 蓮如』第 2 巻)。
- 21) (龍谷大学編『蓮如上人研究』, 『真宗書誌学の研究』宮崎圓遵著作集 5 巻), 小論での出典としては、『真宗史料集成』第 2 巻を使用した。
- 22) 平松令三「蓮如の聖教書写と本願寺の伝統聖教」(『講座 蓮如』第 2 巻, 65 頁以下) は, 蓮如前半生における本願寺の経済的困窮についての疑義を述べている。
- 23) 「第八祖御物語空善問書」に, 「明応七年壬子十月十六日, 参り候夜御文ヲ十通ハカリ慶間坊ニヨマセ」(『真宗史料集成』第 2 巻, 434 頁), あるいは, 「畏テ御文ヲトリテ御堂建立ノ御文ヲ次第ニ三通アソハシケレハ, アラ殊勝ヤ殊勝ヤト御定アリケリ」(436 頁) とある。
- 24) 「私心記」(『真宗史料集成』第 3 巻 1982 年 同朋舎出版)。
- 25) 蓮如による本願寺「報恩講」確立については, 遠藤 一「本願寺「報恩講」の確立と蓮如の宗教活動 — 文明十二年山科「報恩講」の歴史的意義—」(徳永大信『蓮如上人の総合的研究』1998 年 永田文昌堂)。
- 26) 「端書章」ならびに「抑当季ノ夏コロハ」章の蓮如自筆部分については, 岡村「蓮如自筆「御文」と御文流布の意義」(『講座 蓮如』第 2 巻 148 頁以下)。
- 27) 「諸文集」(『真宗史料集成』第 2 巻), 『蓮如上人御文』を中心に検索した。
- 28) 『真宗史料集成』第 3 巻, 所収。
- 29) 『群書類従』, 「弘安礼節」と中世書札礼の関連については, 網野義彦「書状」(『古文書学概論』1981 年 吉川弘文館)。また, 岩間敬子「弘安書札礼と院宣・繪旨」(『古文書学研究』32 号 1991 年)。
- 30) 「中世後期本願寺懇志請取状の展開 — 金品請取文言を持つ蓮如・実如「書状」を中心に—」(北西弘先生還暦記念会編『中世仏教と真宗』1985 年 吉川弘文館)。
- 31) 龍谷大学大宮図書館所蔵。
- 32) 「御文」の「書止文言」については, 籠谷真智子「御文章の書止雑感」(『蓮如上人研究会誌』No.5 (1991 年) が細分した区分を試みられている。
- 33) 蓮如の「書札礼」に対する態度は, 大喜直彦「蓮如の書状・御文・裏書を考える」(『講座 蓮如』第 2 巻)。
- 34) 「蓮如上人一語記」(『真宗史料集成』第 2 巻) P449。

一般論文

表計算ソフト「エクセル」を用いて伝熱計算を解く — 定常解と非定常解 —

杉 森 欣 三

Solving the Conductive Heat Transfer Calculations with the Aid of "Excel"

Kinzo SUGIMORI

In this paper, a simple method is mentioned for solving the conductive heat transfer calculations with the aid of computer program, "Excel". This numerical calculation method described here will be the useful tools for engineering education.

1. ま え が き

本稿は今夏、さる団体が主催した「中小企業研修講座」の一環として、筆者が行った講義の草稿を元にまとめたものである。対象は久留米市近郊の企業で働く若手～中堅技術者であったが、本校の授業、例えば筆者が電気工学科5年学生に対して行っている「電気応用～電熱工学」などのテキストとしても役立つようにと考え、本稿をまとめた。

電気機器や電子機器などあらゆる機器において、効率が100(%)でない限り必ず熱損失が発生するので、放熱処理、伝熱計算など熱設計が非常に重要な課題になる。ある場合は本来の電気設計以上にその機器の性能を左右する場合も珍しくない。

伝熱計算を行うということは要約すれば定常解、非定常解を含め、いわゆるフーリエの微分方程式を解くということになるが、ここでは伝熱の物理的イメージを良く理解できるようにと考えて、伝熱経路を電気的等価回路モデルに置き換えて解析する手法を用いた。

数値計算では表計算ソフト「エクセル」を用いて、差分近似解としてエクセル画面上で展開しながら求めた。この手法はラプラス解を求める方法として既に拙著で詳しく述べており¹⁾、今回もその手法を応用した。以下、事例を挙げながら解説する。

2. 熱と電気の類似性

温度は熱を流れさせるポテンシャルと考えることができる。従って熱の流れ(熱流)は温度差に比例

表1 熱と電気との対応表

熱	電 気
温度差 (°C)	電圧 (V)
熱流 (W) (=J/Sec)	電流 (A)
熱抵抗 (°C/W)	電気抵抗 (Ω)
熱伝導率 (W/m°C)	導電率 (1/Ωm)
熱容量 (J/°C)	静電容量 (F)
熱量 (J)	電荷 (C)

し、熱流路の抵抗(熱抵抗)に逆比例して定まる。これは熱流と電流の相似性を示しており温度差を電圧に、熱流を電流に、熱抵抗を電気抵抗に置き換えれば、電気回路そのものである。

したがって、熱は電気的等価回路に置き換えて解析することができ、定常および非定常状態における熱流の問題を解くのに非常に有用である。

表1に熱と電気のパラメータの対応表を示す。

3. 温度分布に関する差分方程式

今、考えている平面を直交座標(x, y)で表し、x方向、y方向それぞれに小さな幅、hの格子(メッシュ)で分割する。座標(x, y)のかわりに各格子に番号(i, j)をつけて、これを用いるとすれば考えている平面を図1のように表すことができる。

ここで、図1に示すように格子点(i, j)の温度を V_{ij} とすると、 V_{ij} とその左右下上の4点の格子点の温度 V_{i-1j} , V_{i+1j} , V_{ij-1} , V_{ij+1} との間には

式(1)に示す関係式を導くことができる¹⁾。すなわち、

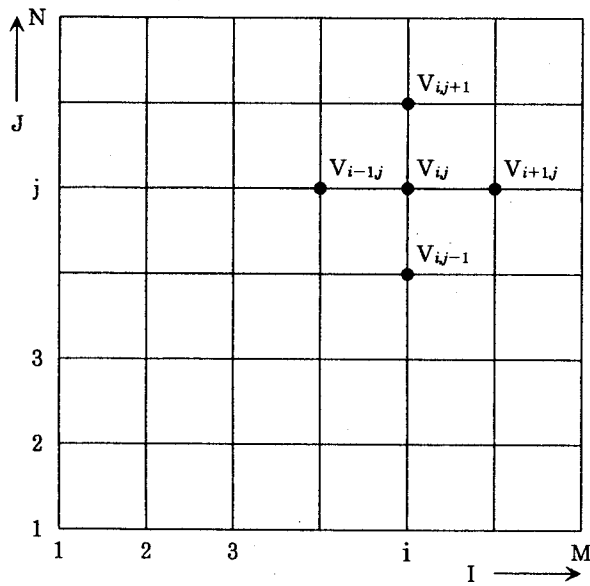
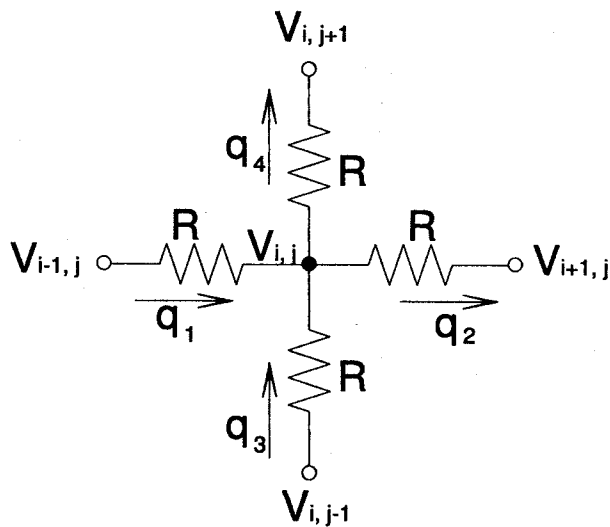


図 1 格子で分割した I-J 平面

$$V_{ij} = (V_{i-1j} + V_{i+1j} + V_{ij-1} + V_{ij+1}) / 4 \quad (1)$$

今、図 2 に示すように各格子点間の熱抵抗を R とし、各熱抵抗を流れる熱流を q_1, q_2, q_3, q_4 とすると、式 (2) ~ 式 (6) が成立する。



R : 熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

q_1, q_2, q_3, q_4 : 熱流 (W)

図 2 定常状態で発熱源がない場合の電氣的等価回路モデル

$$V_{i-1j} - V_{ij} = Rq_1 \quad (2)$$

$$V_{ij} - V_{i+1j} = Rq_2 \quad (3)$$

$$V_{ij-1} - V_{ij} = Rq_3 \quad (4)$$

$$V_{ij} - V_{ij+1} = Rq_4 \quad (5)$$

$$q_1 + q_3 = q_2 + q_4 \quad (6)$$

上の 5 個の式から V_{ij} を求めれば式 (1) が容易に得られる。

これがいわゆる差分方程式と呼ばれるものである。この場合は発熱源がない場合に相当し、熱抵抗 R の値に関係しない。なお、定常状態におけるフーリエの微分方程式から差分化して求めても同様に式 (1) に達する。さらに電磁気学における電位分布に関するラプラスの方程式からも式 (1) と全く同じ差分化方程式が得られる。

境界形状と境界における温度が与えられれば、境界内の任意の格子点の温度が式 (1) から知ることができる。

4. 定常状態で発熱源がない場合の例

例として、図 3 に示すような正方形の板の温度分布を表計算ソフト、エクセルを使って実際に求めてみよう。境界温度は板の左端および右端がそれぞれ $0 (^{\circ}\text{C})$ で上端および下端は $100 (^{\circ}\text{C})$ であるとする。

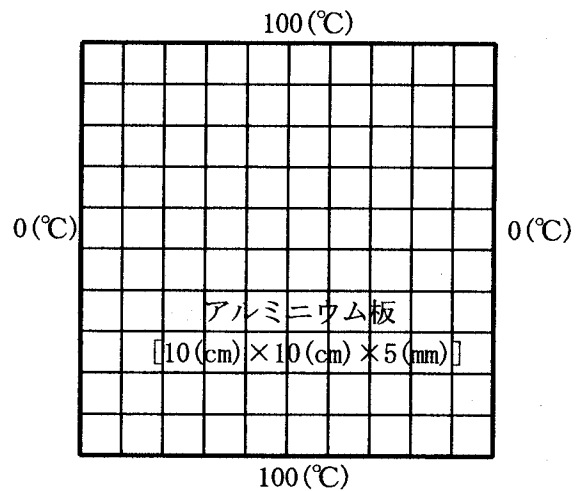


図 3 正方形の板の温度分布を求める

実際の解き方は拙著、「表計算ソフト「エクセル」を用いて差分方程式を解く」¹⁾ で詳しく述べているので、ここでは概略を述べるに留める。

図 3 に示すようにここでは正方形の板面を上下左右に 10 等分している。外角の 4 点は計算には使わないので、これを除くと格子点は合計 117 点である。そのうち上下左右の境界線上の点が $9 \times 4 = 36$ 点で、この格子点には既に温度の値が与えられている。従って境界内の残りの格子点、 $9 \times 9 = 81$ 点の温度を求めるのが問題である。

解法の概要は次のとおりである。

- (1) エクセル画面上の「セル」を格子点に対応させて、境界点に対応する36個のセルに指定の温度値を入力する。
- (2) 境界内の81点の格子に対応するセルに初期値として0 (°C) を入力する。(実際には、エクセルを開いたとき自動的にセルは0にセットされているので、わざわざ入力する必要はない)
- (3) 求めたい81点の格子のうち、例えば一番左上のセルに式 (1) に相当する式を入力する。
- (4) するとこのセルの値が0からある値に変化するが、順次残りのセルにマウスを「ドラッグ」して式 (1) を入力していくと、セルの中の数字がどんどん変わっていく。そのまま全てのセルをドラッグし終わると、セルの値も落ちつき、解が各セルに表示される。

以上述べた方法が解法のごく概略である。解は全てのセルが式 (1) を満たす値で、エクセル内ではこれを満足するように反復計算を行って、ある誤差内に収まった時点で計算を終了する。

なお、注意を要する点はエクセルは通常の状態では反復計算を実行するには設定されていないので、これを設定してから計算を行うことである。

この計算方法はコンピュータでしばしば多用される「逐次緩和法 (Successive Relaxation Method)」と呼ばれる計算手法である²⁾。

表 2 にエクセルによる計算結果の表を、また図 4 にこれをグラフ化した図を示す。

表 2 エクセルによる計算結果 (その 1)
(定常状態、熱源がない場合)

0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
0	50	70	78	82	84	82	78	70	50	0
0	30	50	61	67	69	67	61	50	30	0
0	22	39	50	57	59	57	50	39	22	0
0	18	33	44	50	52	50	44	33	18	0
0	17	31	42	48	50	48	42	31	17	0
0	18	33	44	50	52	50	44	33	18	0
0	22	39	50	57	59	57	50	39	22	0
0	30	50	61	67	69	67	61	50	30	0
0	50	70	78	82	84	82	78	70	50	0
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0

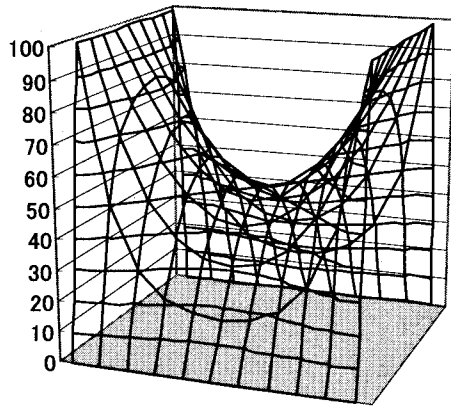


図 4 エクセルによる計算結果 (その 2)
(定常状態、熱源がない場合)

5. 発熱源がある場合

実際に熱計算を必要とする場合は発熱源がある場合の方がむしろ多いであろう。この節では定常状態で発熱源がある場合について述べる。

今、格子点 (i, j) の場所に q_0 (W) の発熱源がある場合を考えると、図 5 に示すような電氣的等価回路が考えられる。このとき式 (7) ~ 式 (11) が成立する。

すなわち、

$$V_{i-1,j} - V_{i,j} = Rq_1 \tag{7}$$

$$V_{i,j} - V_{i+1,j} = Rq_2 \tag{8}$$

$$V_{i,j-1} - V_{i,j} = Rq_3 \tag{9}$$

$$V_{i,j} - V_{i,j+1} = Rq_4 \tag{10}$$

$$q_1 + q_3 + q_0 = q_2 + q_4 \tag{11}$$

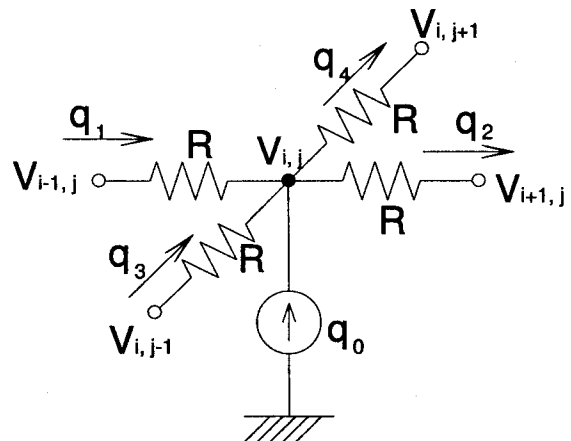


図 5 定常状態で発熱源がある場合の電氣的等価回路モデル

式 (7) ~ (10) は式 (2) ~ (5) と同じである。式 (7) ~ (11) から $V_{i,j}$ を求めると次式のようなになる。

$$V_{i,j} = (V_{i-1,j} + V_{i+1,j} + V_{i,j-1} + V_{i,j+1}) / 4 + Rq_0 / 4 \tag{12}$$

すなわち、発熱源がある格子点 (j, j) の温度 V_{ij} は上式 (12) で与えられる。発熱源がない格子点では $q_0=0$ であるから、上式は式 (1) とおなじになる。

実際に例題を挙げて解析を行ってみよう。図 3 に示したような正方形の、厚さが 5 (mm) で 10 (cm) × 10 (cm) のアルミニウム板がある。その中心に $q_0=100$ (W) の発熱電力がある場合のアルミ板の温度分布を求めたい。但し板の外側面の境界温度は 25 (°C) とする。またアルミニウムの熱伝導率は $\kappa=230$ (W/m°C) である。

まず格子点間の熱抵抗 R を求めなければならない。格子分割を前節の発熱減がない場合と同様に 10 等分割とすると、格子点間の抵抗 R は次のようになる。

$$\begin{aligned} R &= (1/\kappa) \times (\text{長さ}) / (\text{断面積}) \\ &= (1/230) \times 0.01 / (0.005 \times 0.01) \\ &= 0.87 \text{ (}^\circ\text{C/W)} \end{aligned} \tag{13}$$

上式で得られた格子間抵抗 R と、発熱電力 $q_0=100$ (W) を式 (12) に代入し、これを発熱源の格子点 (6, 6) にエクセル画面上で対応するセルに入力する。これ以外の格子点 (エクセル画面上ではセル) には式 (1) を入力すれば、あとは前節の場合と同様の手順を進めればよい。

このようにエクセルで計算した結果を図 6 に示す。

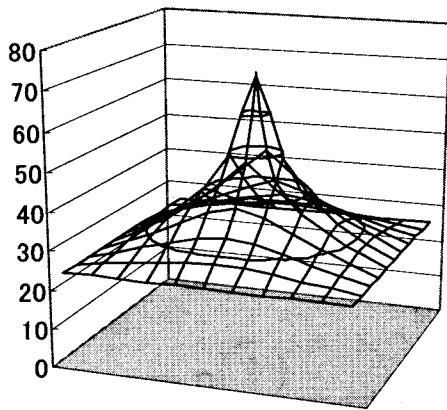


図 6 定常状態、発熱源がある場合の計算結果

6. 非定常熱伝導の解析

これまで述べてきたことはいわゆる定常状態といわれるもので、加熱後あるいは冷却後に時間的に安定な状態に達した状態での解析である。

実際には定常状態に達するまでに、時間的に変化する状態があり、これを非定常状態または過渡状態という。この非定常状態を表す電気的等価回路を図

7 に示す。

ここで C は熱容量 (J/°C) で、電気的にはコンデンサーの静電容量に相当する。また q_c は熱容量 C に蓄熱される熱流で、電気的にはコンデンサーの充電電流に相当する。図から次式 (14) ~ (19) が成立する。

$$V_{i-1,j} - V_{ij} = Rq_1 \tag{14}$$

$$V_{ij} - V_{i+1,j} = Rq_2 \tag{15}$$

$$V_{i,j-1} - V_{ij} = Rq_3 \tag{16}$$

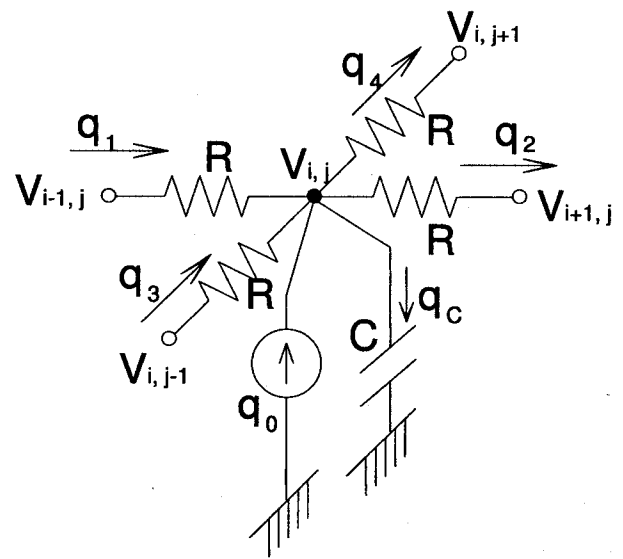
$$V_{ij} - V_{i,j+1} = Rq_4 \tag{17}$$

$$q_1 + q_3 + q_0 = q_2 + q_4 + q_c \tag{18}$$

$$dV_{ij}/dt = q_c/C \tag{19}$$

上式から温度 V_{ij} の、時間 t に関する微分式 (20) が導出される。すなわち、

$$\begin{aligned} dV_{ij}/dt &= (1/CR) \times \\ & (V_{i-1,j} + V_{i+1,j} + V_{i,j-1} + V_{i,j+1} - 4V_{ij}) + (q_0/C) \end{aligned} \tag{20}$$



C : 熱容量 (J/°C)

図 7 非定常状態における電気的等価回路

上式で CR は時定数 (Time Constant) と呼ばれるパラメータで、時間の単位 (秒) で表される。時定数が大きい程、温度の上昇または下降は時間的にゆっくり変化する。

$$\text{時定数 } \tau = CR \tag{21}$$

熱容量 C (J/°C) は物体を 1 (°C) 上昇させるに必要なエネルギー (熱量) (J) で、物体の重さを W (kg)、比熱を c (J/kg°C) とすれば次式で表される。

$$C=W \times c \quad (22)$$

定常解の場合に比べると若干複雑になる。式(20)を数値解として解くには非定常項、 dV_{ij}/dt の近似差分法がさらに必要で、ここでは「前進差分法」といわれる方法を説明する³⁾。

今、式(20)の左辺を、

$$dV_{ij}=V_{ij}^{n+1}-V_{ij}^n \quad (23)$$

$$dt=\Delta t \quad (24)$$

とおく。 Δt は時間刻みであり、 n は時間刻みのステップ数を示す。式(23)、(24)を式(20)に代入すると、格子点 (i, j) の時間ステップ $(n+1)$ における温度、 V_{ij}^{n+1} は次式(25)で表される。

$$V_{ij}^{n+1}=(\Delta t/\tau) \times (V_{i-1j}^n+V_{i+1j}^n+V_{ij-1}^n+V_{ij+1}^n) + (1-4(\Delta t/\tau))V_{ij}^n+(q_0\Delta t/C) \quad (25)$$

このように前進差分法では時間ステップ n における温度の値から時間刻み Δt 後の、ステップ $(n+1)$ における温度を求めることができる。

なお、式(25)を用いて発散しない安定な解が得られるためには、

$$\Delta t/\tau \leq 0.25 \quad (26)$$

の条件が必要である³⁾。

7. 非定常解析の実例

最後に、非定常解析の実例をエクセルで解いてみよう。5節の例題で示したのと同じ形状のアルミニウム $[10(\text{cm}) \times 10(\text{cm}) \times 5(\text{mm})]$ において、中央の格子点 $(6, 6)$ に電力 $q_0=100(\text{W})$ の発熱源がある場合を考える。

上に述べた条件で時間 $t=0$ で発熱源をオンした後、定常状態に達するまでのアルミ板の温度分布の時間的変化を知りたい。

但し、アルミニウムの比熱は $c=900(\text{J/kg}^\circ\text{C})$ であり、密度は $2.7(\text{g/cm}^3)$ である。またアルミ板からの放熱は厚さ $5(\text{mm})$ の4面の側面から放熱されるが、側面からの放熱抵抗は十分に小さく、従って発熱源がオンされた後も側面の温度上昇は無視でき、側面の温度(境界温度)は変わらないと仮定する。

まず、アルミ板の1格子当たりの単位体積 $[5(\text{mm}) \times 1(\text{cm}) \times 1(\text{cm})]$ の熱容量を求めると次のとおりである。

$$\text{熱容量 } C=(\text{体積}) \times (\text{密度}) \times (\text{比熱})$$

$$=0.5 \times 1 \times 1 \times 2.7 \times 0.9 \\ =1.22(\text{J}^\circ\text{C}) \quad (27)$$

また単位格子当たりの熱抵抗は既に式(13)で求められているので、熱時定数 τ は次のようになる。

$$\tau=CR=1.22 \times 0.87=1.06(\text{sec}) \quad (28)$$

以下に、エクセルで実際に解いてみる場合の手順を述べる。

- (1) 時間 $t=0$ (時間ステップ $n=0$)においてはそれまで発熱がないので、アルミ板の温度は一様で、全ての格子点は同じ温度である。ここでは室温 $25(\text{C})$ を全ての格子点(エクセルではセル)に入力する。
- (2) 刻み Δt をここでは $\Delta t=0.1\tau$ 時間 $=0.106(\text{sec})$ とする。時間 $t=\Delta t$ における格子点 (i, j) の温度 $V_{ij}(n=1)$ は $t=0$ ($n=0$)における温度分布を用いて式(25)から求められるから、この式をドラッグにより各格子点に相当するセルに入力すれば、 $t=\Delta t$ における温度分布が得られる。なお発熱源がない格子点では $q_0=0$ である。
- (3) 以下、同様にして $t=2\Delta t, 3\Delta t \dots$ 等の各時間ステップの温度分布が得られる。

図8はこのようにしてエクセルで計算した結果である。同図の左側部分は温度を高さで立体的に表したものであり、右部は温度分布を色で表した図である(表示は $2\Delta t$ おきに表示)。

8. あとがき

以上、表計算ソフト「エクセル」を使って、定常解および非定常解のそれぞれについて、伝熱計算を行う方法を紹介した。非定常解析における境界面の放熱抵抗の扱いなどここでは簡略化しているが、今後はより実際に即した扱いを取り入れていきたい。伝熱工学あるいは電熱工学のテキストとして多少なりとも参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 杉森:「表計算ソフト「エクセル」を用いて差分方程式を解く」, 久留米高専紀要14巻2号, pp.57-60, 1999.
- 2) 森口: 数値計算工学, pp.210-214, 岩波書店, 1989.
- 3) 棚沢他: 伝熱工学, pp.33-36, 朝倉書店, 1989.

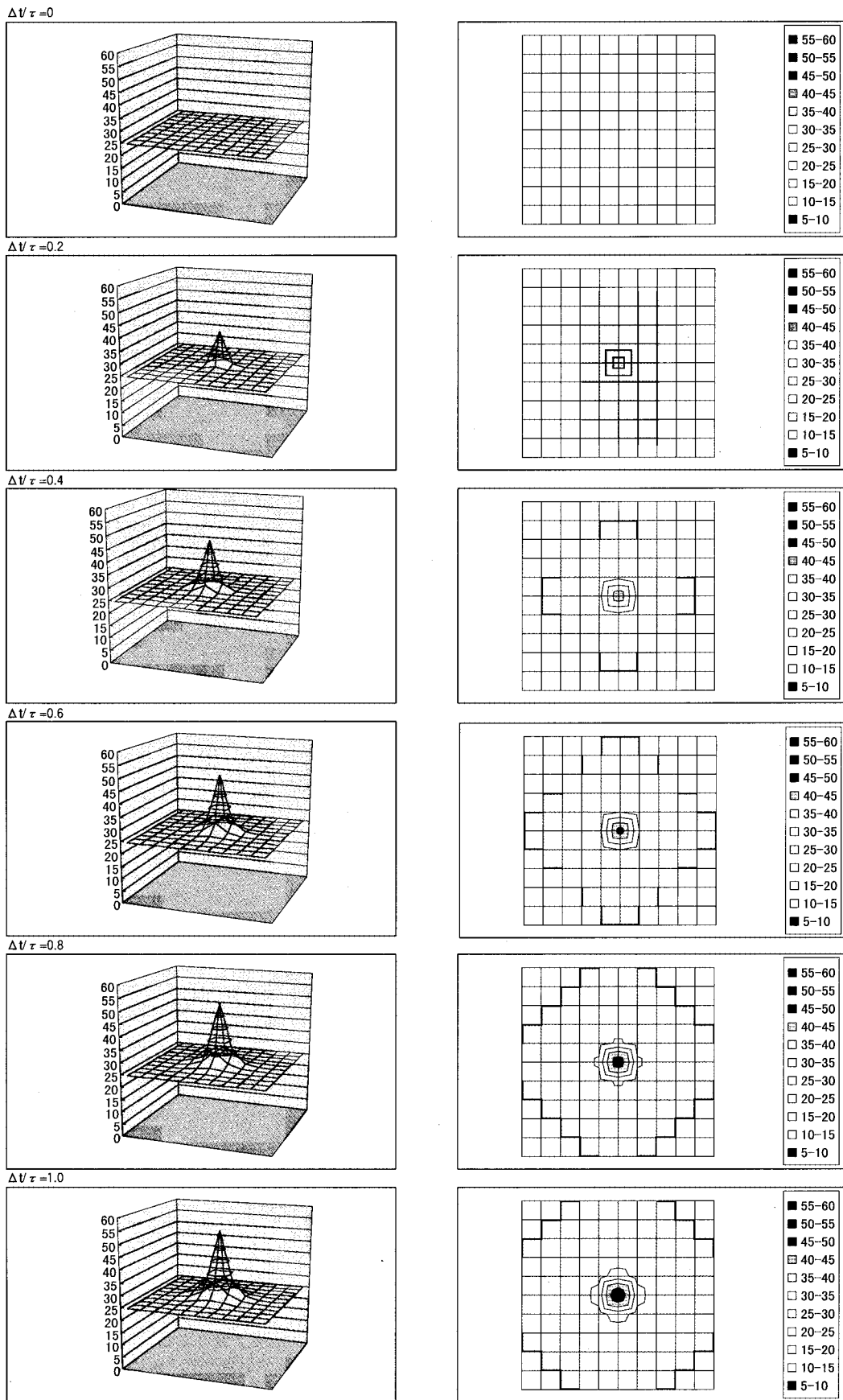


図 8 非定常熱解析 数値計算結果の一例 (時定数 $\tau=1.06(\text{sec})$, 計算時間ステップ $\Delta t=0.1\tau$)

教育研究報告

第9回久留米高専産学民連携フォーラム テーマ「廃食用油のリサイクル」

富 岡 寛 治
加 藤 秀 文

The 9th forum of Regional Collaboration Centre in Kurume National College of Technology Reuse of waste oil

Kanji TOMIOKA
Hidefumi KATO

1. はじめに

教育の一層の充実振興と地域社会の発展に寄与することを目的として、2000年4月に「久留米工業高等専門学校産学民連携推進センター」が設立された。この推進センターは、フォーラム、セミナー、公開講座及び講習会などの開催、技術相談並びに共同研究などをおこない、以て地域社会に本校の技術、知識を還元することを目的とする。フォーラムは2000年4月に第1回が開催されて以来、2001年6月で9回目を数えた。この間、フォーラムの開催を通して地元企業と本校との共同研究がいくつか立ち上がっている。第9回となる今回は、近年益々関心が高まりつつある環境関連テーマのうち「廃食用油のリサイクル」を企画した。

廃油のリサイクルといえば、誰も石鹸作りに思いが及ぶはずである。近隣の大牟田では、市が音頭をとり学校給食から出される廃食用油を使った石鹸作りを行っている。行政機関以外にも、農協、地域自治会、ボランティア団体が主導する廃油を利用した石鹸づくりが規模の違いこそあれ各地で行われている。石鹸としてのリサイクルの試みに関して、地元石鹸メーカーの林眞一氏と地域ボランティア活動として石鹸作りを指導しておられる橋田沙弓氏に話っていた。

食用油の国内消費量（1996年度）、約200万トン/年のうち、約40万トン/年が廃食用油として排出される。このうち20万トン/年は回収され、家畜の配合飼料、添加剤、石鹸、塗料原料などにリサイクルされている。しかし、残りの20万トン/年は廃棄あ

るいは焼却されており、環境汚染が懸念される。この残りの20万トン/年をすべて石鹸にリサイクルすることは量的にコスト的にも現実的でない。リサイクル石鹸が消費される量は現在でも限られているからである。このような廃食用油を原料としてリサイクルされるバイオディーゼル燃料（メチルエステル）は、回収油をより効率的かつ大規模にリサイクルできることから最近にわかに脚光を浴びつつある。このリサイクル技術をバイオエンジニアリングにより確立した、神戸大学自然科学研究科教授の福田秀樹氏に、その技術のオリジナリティーを中心に経緯を話っていた。

本教育研究報告では、バイオディーゼルの話を中心に概要をまとめ、廃油リサイクルの将来を展望する。また、本フォーラムを経て立ち上がった共同研究を簡単に紹介する。

2. プログラム

①久留米工業高等専門学校校長挨拶

13：30～13：40

②「てんぷら廃油で石けん作る」

13：40～14：20

久留米の自然を守る会事務局長

福岡県環境審議会委員 橋田 沙弓 氏

③「今、なぜ石けんか—環境と健康にやさしい石けん—」

14：20～15：00

まるは油脂化学株式会社

代表取締役 林 眞一 氏

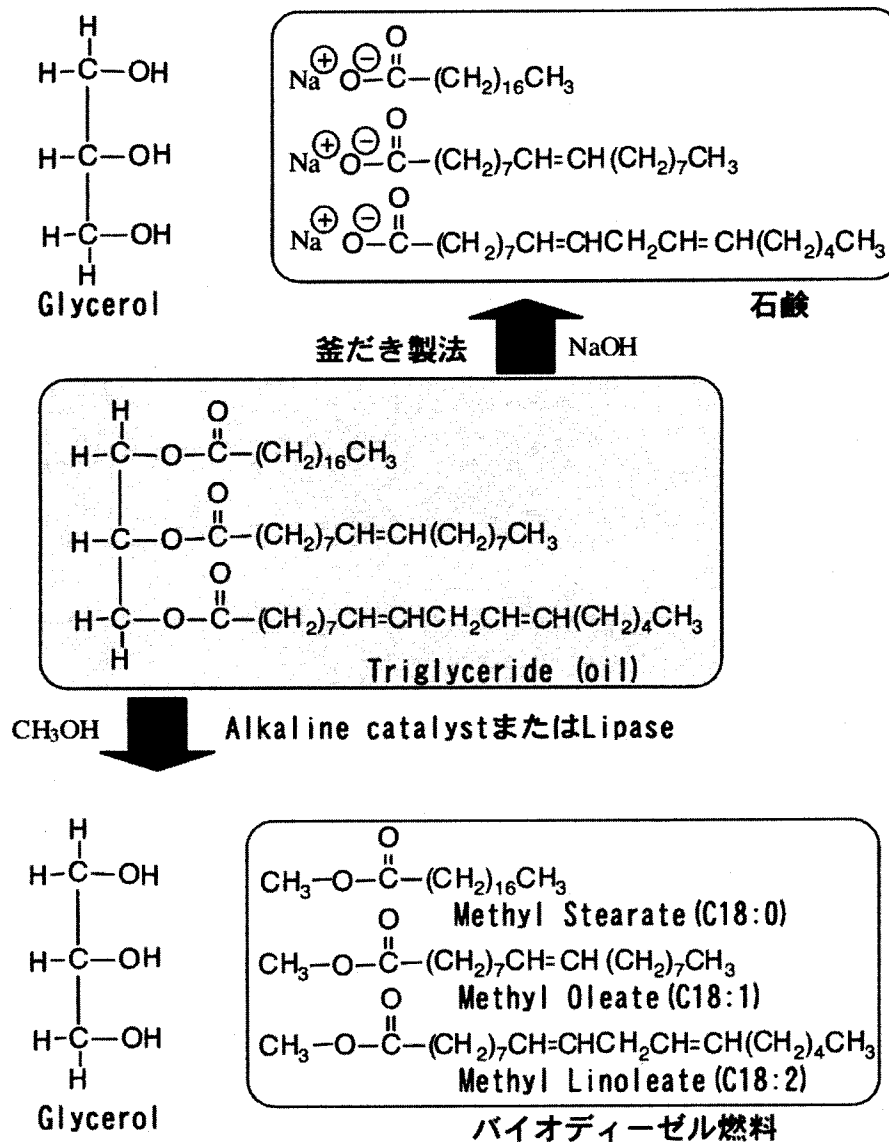


図 1 バイオディーゼル燃料の反応スキームと石鹼の反応スキーム

- ④ 「てんぷら廃油で自動車を走らす」
15:20~16:00
神戸大学自然科学研究科副研究科長
教授 福田 秀樹 氏
- ⑤ 久留米工業高等専門学校産学民連携センター長
挨拶
16:00~16:10

3. 講演内容

久留米市において廃油を移用した石鹼作りは、すべてボランティア活動として行われている。石鹼作りは、さして難しくはなく、廃天ぷら油と苛性ソーダを混ぜて後、塩を加えればできあがる。しかし、家庭で誰もが料理を作るように日常的にできるわけ

ではなく、化学の心得がある指導者が必要であり、苛性ソーダを使用するため非常に危険な作業となる。橋田氏は長年ボランティアとして、石鹼作りを指導してこられた。このようにして作られた手作り石鹼は品質差が大きく、手洗い、洗顔、洗濯などすべての用途に使用できるわけではなく、特にアルカリ性がきつい場合には洗顔には向かない。この石鹼作りのボランティア活動には、実用としての石鹼作りという意味合いのほかに、楽しい理科実験と自然派素材の石鹼の啓蒙という意味合いが込められている。

林氏は、石鹼メーカーとして石鹼の安全性と、合成洗剤にも劣らない高品質性をアピールした。しかし、合成洗剤のシャンプー、ボディーソープは洗浄用という本来の機能にコスメティック性の付加価値

が付与されており、環境問題への関心の高まりをしても石鹼への回帰をもたらしていない。講演の前段として上映されたビデオでは、ハーブや米糠などを石鹼に加え付加価値を高める試みが紹介されていた。残念ながらこのような試みを以てしても、石鹼に対するイメージを大幅に高め、それが消費行動につながっているとは言えない。

緒言で述べたように、廃油をすべて石鹼に作り変えても、そのすべてが消費されるとは思えない。もっと大胆に発想を転換し、新しい用途、しかも環境に優しい大規模な用途を開拓する必要がある。この用途として廃油をバイオディーゼル燃料として利用することが考えられている。廃油をエネルギーとして利用しようという発想は決して新しいものではないが、商業的に広く行われるには至っていない。図1にバイオディーゼル燃料製造における反応スキームを示した。(参考のために石鹼製造の反応スキームもあわせて示した。)バイオディーゼル燃料は現在アルカリ触媒法で生産され、一部実用化されている。しかしながらアルカリ触媒法は、生成物の精製のための水洗、副生する石鹼の除去、遊離脂肪酸の除去など製造プロセスに解決すべき課題が多い。このことがアルカリ触媒法によるバイオディーゼル燃料のコスト(軽油の約3倍)を引き上げている。このようにして得られたバイオディーゼル燃料は、酸性雨の原因となる硫黄酸化物(SO_x)や黒煙が軽油に比べて少なく、排ガスのクリーン化の効果が得られるものの、あまりにもコストが高すぎる。福田氏はこの点に着目し、微生物を利用して安価にバイオディーゼル燃料を生産する研究を開始した。

まず、図1のようなメタノリシス反応はアルカリ触媒の代わりに酵素を用いても同様におこなうことができ、しかも、上述したアルカリ触媒法の欠点を克服できる。メタノリシス反応に適するリパーゼ酵素をスクリーニングした結果、特に *Candida antactica* と *Rizopus* 属の酵素活性が高い値を示した。

Candida antactica 由来のリパーゼは、水分の共存濃度を ppm オーダーで制御する必要があるのに対し、*Rizopus* 属由来のリパーゼは水分の共存があっても反応がおこり反応率が90%にも達することがわかった。すなわち、この *Rizopus* 属由来のリパーゼを用いることによりアルカリ触媒法の欠点を解決することが可能であるが、リパーゼ酵素は非常に高価であることから、この方法がすぐにプロセス化されることはない。

この問題を解決するために、すなわち、酵素コストを大幅に低減させるために、福田氏は、従来の酵素法とは全く異なる "whole cell biocatalyst" の構築を検討している。これは、酵素の代わりに、その酵素を生産することのできる微生物を直接酵素剤として用いる方法で、培養後の分離、回収・精製および固定化プロセスを全く必要とせず、極めて単純な製造プロセスを構築できることから、コスト的に著しく有利となる。ポリウレタンフォーム多孔質担体(BSPsと呼ばれている)に *Rizopus oryzae* IFO 4697を培養時に固定化し、直接酵素剤として用いた結果、90%の反応率で油のメチルエステル化を行うことができた。

このようにして得られたバイオディーゼル燃料(メチルエステル)を回収し、ディーゼル車のテスト走行を行ったところ、車の改造をすることなく動力性能に問題のないことが証明された。

4. おわりに

20世紀は環境破壊の世紀であり、21世紀は環境修復の世紀である。近年、環境に対する意識が向上し、製造者も消費者も環境保護の取り組みを始めている。このような大きな流れを受けて、廃食用油のリサイクル問題についてフォーラムを実施したところ103人の参加があった。

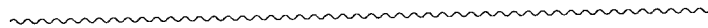
廃食用油は、家畜の配合飼料、添加剤、石鹼、塗料原料などにリサイクルされている。しかし、その規模は小さく20万トン/年にとどまっている。特に石鹼としての再利用はおのずと用途が限定されており、リサイクル石鹼量の大幅な増加は見込めない。高分子技術の粋を結集した高機能高品質の合成洗剤シャンプーの代わりに、リサイクル石鹼を使っていくことは極めて考えにくい。用途的に一番有望なのは、バイオディーゼル燃料(メチルエステル)であることは、間違いないだろう。"whole cell catalyst" の構築がすでに実用化段階に達しており、軽油と比べても遜色のないコスト設定ができることから、いくつかの自治体では導入に踏み切っている。今後、この流れはますます加速し商業ベースに乗っていくことが予想される。

廃食用油の回収に関して言えば、フードショップのチェーン店などからの集荷は比較的効率的に大規模に行うことが可能であるが、各家庭からでくる廃食用油の集荷を効率的に行うことは極めて難しい。食用廃油のリサイクルを考えると、用途の問題のみならず、回収システムの構築が避けて通れない問

題として浮かび上がってくる。しかし、この集荷問題の解決のために NGO が一役買うかも知れない。

廃食用油、紙、ビン、アルミ、ペットボトルなどのリサイクルをはじめとして、循環型社会の構築が進められてきている。このような動きは今後ますます広がりを見せて行くであろう。そこに貢献できる技術は、何と言ってもバイオエンジニアリングの領域と考えられる。久留米工業高等専門学校の生物応

用化学科は、旧工業化学科が改組され生物化学工学のコースが拡充された学科であり、このような地域社会の環境保護の活動や循環型社会の構築を支援していく使命もまた負っている。幸い、このフォーラムを通して、まるは油脂化学株式会社と生物応用化学科の間で、固定化微生物を利用した工場廃液の BOD 負荷改善に関する共同研究が立ち上がったことはひとつの成果と言えるだろう。



教育研究報告

第10回久留米高専産学民連携フォーラム
— 21世紀の地域ネットワーク構想とその活用法 —

赤坂 則之

**The 10th Joint Forum between KNCT and Industry,
Education & Citizens world
— Concept of Local Information Network
and its Application in 21 Century —**

Noriyuki AKASAKA

1. はじめに

「IT革命」という言葉が流行語になった昨今であるが、地域の企業、住民の情報通信インフラとしての地域ネットワークの構築が、インターネット技術を核として地方自治体を中心に地道な努力により今日まで続けられてきた。その努力の成果として、4700万人に及ぶインターネット利用者および37%のインターネット普及率が達成された。

一方、このような地方自治体の努力を後押しする形で、国としての体制整備が進められた。平成12年7月には、IT革命の恩恵を全ての国民が享受、国際競争力を持つ「IT立国」の形成を目指して「情報通信技術（IT）戦略本部」が設置された。平成12年11月には、情報通信技術の活用により世界的規模で生じている急激且つ大幅な社会構造の変化に的確に対応することの緊要性に鑑み、高度情報通信ネットワーク社会の形成に関する施策を迅速かつ重点的に推進する「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法（IT基本法）」が成立、内閣に「高度情報通信ネットワーク社会推進本部」が設置され、全省庁横断的戦略的に情報技術の普及に取り組むという国レベルの体制整備が整った。これに従い、e-Japan戦略、e-Japan重点計画、e-Japan 2002プログラムが策定され、実行に移されている。

地方自治体である福岡県は、「ふくおかIT戦略構想委員会」を設置し、県内のIT活用の方向性と戦略の検討を開始した。地域間情報格差の是正と地域のIT産業活性化を狙って、県内の経済・社会基盤として「ふくおかギガビットハイウェイ構想」を策定し、高速・大容量の光ファイバ幹線の整備を計

画し、平成13年11月の運用開始を目指している。

以上述べた経済・社会・技術的背景の中で、本フォーラムでは次の3つの課題について専門家に講演して頂き、地域振興、地域活性化につながる展望を理解する企画をした。

- (1) 地方自治体として久留米市および有明地域（大牟田市、高田町、荒尾市）での地域ネットワーク構想とその活用法
- (2) IT企業での技術的取組みとしての電子認証システムの活用と問題点
- (3) 久留米高専でのインターネット技術を利用した技術的応用例

以下にフォーラム内容の概略を報告する。

2. フォーラム開催要領

- (1) テーマ：21世紀の地域ネットワーク構想とその活用法
- (2) 日時：平成13年8月3日（金）13：30～18：10
- (3) 会場：久留米高専ニューメディアホール
- (4) 主催：久留米高専産学民連携推進センター
- (5) 参加者：72名
- (6) プログラム

13：30～13：40

開会挨拶 久留米高等工業専門学校

校務主事 森 哲夫

13：40～14：30

講演 「久留米市のIT戦略」

講師 久留米市情報科推進担当部長

橋本 政孝氏

14：30～15：20

講演 「有明地域としての情報インフラ整備構想について」

講師 有明工業高等専門学校
 共通専門 教授 山下 巖氏
 15:30~16:20
 講演 「電子認証システムの活用と問題点」
 講師 システムラボラトリー (株)
 代表取締役 外山 吉計氏
 16:20~17:10
 講演 「インターネットを用いた産業用ロボ
 トアームの遠隔制御」
 講師 久留米工業高等専門学校
 制御情報工学科 助教授 江頭 成人氏
 17:10~17:20
 閉会挨拶 久留米工業高等専門学校
 産学民連携センター長補 赤坂 則之
 17:30~18:30
 セミナー開催 参加者18名

3. 講演概要

講演 「久留米市の IT 戦略」
 講師 久留米市情報科推進担当部長
 橋本 政孝氏

今日、インターネット利用者は4700万人(全人口の37%)に達し、15~79歳の人が多くを占めている。日本のインターネット普及率は37%で世界14位、米国は56%で2位である。国の動向としてのIT基本法、e-Japan 戦略等の内容説明の中で、e-Japan 重点計画での3000万世帯を対象にした高速通信インフラ計画、1000万世帯を対象にした超高速通信インフラ計画、e-Japan2002プログラムでの教育コンテンツの充実、教員養成の可能性が説明された。

九州経済局による地域情報化取組みは、地域企業を対象としリード役を行政体が担うという形で進められている。2003年には国、市町村レベルでの申請手続きの95%の電子化を目指している。平成14年8月には住民基本台帳のネットワーク化(電子化)を達成し、個人認証の基盤整備を推進している。この個人認証基盤整備の実質推進には、地方自治体による本人確認作業が不可欠となる。

福岡県の大きな構想としては、「ふくおかギガビットハイウェイ構想」が7都市(北九州、飯塚、田川、直方、福岡、久留米、大牟田)を2.4Gbpsで結ぶ情報インフラとして整備される計画がある。さらに福岡-釜山を結ぶ情報インフラ整備計画(2.88Tbps)もある。以上述べた国、県レベルの取組み説明後、久留米市の取組みが以下のように説明された。

昭和60年11月、テレトピア地域指定を受けた。当

時でもアプリケーションは種々あったが、情報インフラとしての整備が不十分で実効は上がらなかった。平成5年に勉強会を発足させ、平成7年には久留米・鳥栖地域インターネット協議会を発足させた。平成11年にはCATVインターネット事業が開始された。平成13年4月には久留米市に「IT戦略推進本部」が設置された。この推進本部が活動中心となり、行政情報化(行政事務の省力化)と地域情報化の効率的融合を図り、結果として情報通信基盤の整備、人材育成、地域統合イントラネットの構築へつなげる計画である。

行政情報化の取組みでは、行政事務プロセスの变革を狙ったが、市職員自身の意識变革の難しさと市民満足度の向上という相克する課題の解決に迫られた。

地域情報化の取組みでは、ネットワーク型地域社会の構築を狙うがネットワーク型地域社会の特徴として構成する人々間の分散的、多中心的なヨコの有機的つながりの実現と、個人に力点を置いた対応という2面の要求を満たす必要がある。

久留米市の産業は下降しており、工業出荷額で2000億円以下になっている。この点からも都市再生を狙ったIT取組みが必要である。地域でのIT取組みの遅れが都市格差につながることは最近の顕著な現象であり、IT戦略推進本部を中心にインフラ整備、電子商取引、IT講習、電子市役所(Security Policy)等6分野での取組みが推進されている。地域バックボーンとなる情報インフラ整備では、足回り回線としてのCATVの可能性とNTT Bフレッツ等の民間活用に期待している。電子市役所での個人認証のキーデバイスとして多機能ICカードも考えており、母子手帳など健保・介護分野のICカード化も視野に入れている。

講演 「有明地域としての情報インフラ整備構想について」



写真 講演中の有明工業高等専門学校教授
 山下 巖氏

講師 有明工業高等専門学校 共通専門

教授 山下 巖氏

国および福岡県の取組み構想を説明した後、有明地域（大牟田市，高田町，荒尾市）での取組みが以下のように説明された。

昭和62年4月にローカルキャプテン事業に着手，第3セクタ方式で実施主体の有明ニューメディアサービス(株)を設立した。平成10年3月に，大牟田市，荒尾市もテレトピア構想の地域指定を受け，キャプテンシステムに代わる情報基盤整備としてケーブルテレビの受信普及の事業化を推進した。しかし，平成11年6月，CATV受信加入者が目標に達成せず，CATV事業化を断念した。事業化は中止したものの，地域としての情報化は必要として情報通信技術の動向を踏まえながら，地域情報化への研究は継続実施した。

一方，大牟田市では平成10年3月，地域情報ネットワーク「OH!夢多（おおむた）情報ネットワーク」を整備，インターネットを使った地域・行政情報の提供，図書館蔵書検索および地域連携推進センター（有明高専）の技術情報提供を可能とした。民間レベルでは，商工会議所を中心に全国の商工会議所で取り組んでいる「CIN事業」で会員や地域の情報発信，ホームページ開設，地域内中小企業者の企業情報と特産品情報等の発信，2003年の電子政府構築にあわせて電子商取引が可能となる体制整備のためのインターネットや電子商取引についてのIT研修を実施した。

高田町では，平成12年10月にホームページを開設，防災情報，生涯学習情報，行政情報，暮らしの情報等を発信。各種申請書のダウンロードサービス，町施設の予約システム，住民からの質問・意見等のEメール受付，情報交換のスペースである掲示板，ブラウザ内蔵型携帯電話に対応したホームページの公開，電話を使った行政情報の提供等，住民サービスの向上に努める。ホームページの内容充実や中小企業者の情報リテラシー向上への取組みも進める。

荒尾市では，平成11年度に市内での業務の効率化・迅速化・情報の共有化を図るため，イントラネットを導入，各課パソコンによる事務連絡や行事予定，会議室管理などに活用。テレホンガイドによる行政情報の提供や独居老人へのペンダント方式による緊急通報システムを実施。平成12年度にはインターネットを利用できるメディア交流館を作り，ワープロ，表計算，インターネット講習教室を開設，多数の応募あり。平成12年度に小・中学校にそれぞれ42台，

22台のインターネット接続用パソコンを設置，授業で活用。市のホームページは，庁内で内容を検討中。商工会議所では，平成12年1月からホームページを開設，2500件/年のアクセスあり。地域商工業者へのパソコン研修やバーチャルモールの開設など地域商工業者への情報化を進める。

「ふくおかギガビットハイウェイ構想」では，大牟田アクセスポイントから地域内の情報インフラを整備する構想を持ち，補正予算による補助事業が示達され，「eネット21」のネーミングの下100Mbpsの地域イントラネットを整備し，教育面の充実を狙って大牟田地区63箇所の小・中学校，公共施設をネットワーク化する考えをしている。平成13年12月には供用開始予定である。

IT講習に関しては，大牟田市でもパソコン初心者を対象に1コース6日間かけて，基本操作からワープロ，インターネット，電子メールの送受信までができる情報技術推進講習会を実施し（対象者4380人，219回），人的な情報格差是正に努めている。有明高専として企画したアカデミックライセンスによる無料講習会は実施できなかった。

有明高専では，地域に唯一存在する理系高等教育機関として，地域への技術相談・情報提供の便宜上，地域への情報化への技術指導，小・中学校および企業との交流などを高速に行えるインフラが整備できるメリットを予測し，地域イントラネットへ加わることにした。これにより，高専教育・学術研究資産還元，地域の情報化に関する技術相談，共同研究等の交流が容易となる。

荒尾市は熊本県に所在する市であり，行政単位から言えば地区が異なるわけであるが，昔の三池炭鉱全盛時には，炭田都市として同じ社会・経済環境を有し，有明地域として生活基盤整備が同一歩調で進められてきた経緯があることから，大牟田市・高田町・荒尾市を1つの有明地域としてくくり，地域情報化を同じ情報基盤整備のもとに開発することが最適と考えられた。

そのため，有明地域の最適なインフラ環境を提言するため，大牟田市・高田町・荒尾市の行政団体，商工会議所を中心にした民間団体，地域の高等教育機関の有志からなる私的研究会を立ち上げ，1年間かけて研究・議論を重ねた。その方式は，1.5Mbps以上の高速情報ネットワークを誰でもが安価に使えるインターネットを活用できることが理想である。研究会では，低圧配電線方式による1.5Mbps以上の高速ネットワークを普及させること，できるだけ

安価に（5000円以下）提供できることを大牟田市に提言した。

最後に有明高専として地域情報化への協力・取組みを述べる。「e ネット21」大牟田地域イントラネット（100Mbps）と本校イントラネットを接続することにより、音声・画像を伴う資料の配布、技術情報の提供、ソフト資産の公開交流も高速で可能となる。本校の公開講座を放送形態でインターネット上に流すこともでき、高専の学術・教育研究資産の直接的公開にも貢献できる。さらに、ネットワーク活用には、地域イントラネットユーザにおけるサーバ・クライアント管理技術がある程度要求される。本校イントラネットの管理運用で蓄積された経験的技術資産が有効利用され、ハード・ソフト開発面での技術相談・技術協力が一層進むと思われる。

講演 「電子認証システムの活用と問題点」

講師 システムラボラトリー(株)

代表取締役 外山 吉計氏

IT企業として、電子認証システムの開発と技術課題を説明する。電子認証システムの取組みは1997年より開始された。久留米・鳥栖インターネット協議会のマルチメディア懇話会の認証システムWGの取組みが始まりである。

企業として、サーバの運用管理を業務とし、サーバのトラブル対策（ハッカー対策）に取り組む中で、サーバの security 技術を構築してきた。

電子認証システムの重要性が増加してきた背景には、

- (1) インターネット人口の増加
 - (2) インターネット購入での消費者の被害の増加
 - (3) 2001年4月の電子署名法成立など政府による制度導入
 - (4) ネットワークビジネス（B to B）の増加などが挙げられる。
- 電子署名（暗号化）の仕組み（秘密鍵、公開鍵）

や認証局（CA）と認証発行局（RA）（民間主導）の関係が述べられた。

認証システムでのポイントは、現実の実印、認印に代わる個人の認証をインターネット上で完璧に達成することである。これを阻害する犯罪例（なりすまし、しらんぷり、改ざん、盗聴）が説明された。

鍵の具体的種類としては

- (1) フロッピー
- (2) IC カード
- (3) USB 認証キー
- (4) Java リング

米国では認証サービス機関が普及しているが、日本では本年8/1に日本認証サービスが発足したばかりである。証明書1枚9000円で提供されるが、普及率が課題である。

講演 「インターネットを用いた産業用ロボットアームの遠隔制御」

講師 久留米工業高等専門学校

制御情報工学科 助教授 江頭 成人
多関節型ロボットアームを対象に学内LANを経由して会場と講師の実験室間での遠隔制御システムを実現させたデモンストレーションが見られた。遠隔制御の様子はビデオ情報として会場で見ることができた。インターネットインフラがもつ工業的応用の潜在力を具体例でみる事ができた。情報インフラの更なる高速化・大容量化が工業応用面での大きな可能性をひきだすことが予測される。

4. おわりに

今回のフォーラムを通して、地方自治体が取り組んできた或いはこれから取り組まれる地域ネットワーク作りが、地域の振興と活性化にどのようにつながるのか、理解の助けとなれたら幸甚です。最後に本フォーラムでの講師の方々始め関係各位に感謝致します。

教育研究報告

第11回久留米高専産学民連携フォーラム — 風力発電に魅せられて —

中 武 靖 仁
米 倉 將 隆

11th Joint Forum of Kurume National College of Technology Regional Collaboration Center — Fascinated by Wind Power Generation —

Yasuhito NAKATAKE
Masataka YONEKURA

1. はじめに

久留米高専産学民連携推進センターが主催し、第11回の久留米高専産学民連携フォーラムが開催されました。今回は先の電気事業法の改正により、電力が部分自由化されたことや、地球温暖化防止京都会議での二酸化炭素排出規制により、クリーンで再生可能な自然エネルギーとして、近年再び注目されている風力発電を取り上げ、「風力発電に魅せられて」をテーマとして、3人の講師が講演されました。

2. フォーラム開催要領

本フォーラムは、下記要領で開催されました。

テーマ「風力発電に魅せられて」

1. 日 時：平成13年11月2日(金) 13:30-17:05
2. 場 所：久留米工業高等専門学校
ニューメディアホール(図書館2階)
3. 主 催：久留米工業高等専門学校
産学民連携推進センター
4. 参加費：無料
5. 内容等：

(1) 13:30-13:40

久留米工業高等専門学校校長挨拶

(2) 13:40-14:30

講演Ⅰ：「風・水・光」

講 師：日立プラント建設株式会社 電機事業部
九州電機部 主任 麻生 正憲 氏

(3) 14:30-15:20

講演Ⅱ：「風力発電とブレード」

講 師：久留米工業高等専門学校 機械工学科
講師 中武 靖仁 氏

(4) 15:30-16:20

講演Ⅲ：「FRP 概論」

講 師：三島光産株式会社 北九州事業部
樹脂課長 川北 克美 氏

(5) 16:20-16:30

久留米工業高等専門学校
産学民連携推進センター長挨拶

(6) 16:35-17:05

セミナー



写真1 開会の挨拶をする柳 謙一校長

3. 講演概要

3人の講師がそれぞれの立場から講演されましたので、概要を説明します。

講演Ⅰ：「風・水・光」麻生 正憲

- 1) 産業の流れとエネルギー
- 2) 風力の実力
- 3) 風力発電のコストと導入
- 4) 風力発電導入のイメージの流れ
- 5) 風・水・光エネルギー導入のイメージ

- 6) 小型風力発電設備の開発
- 7) 発電設備導入の意義
- 8) 風は世界の言葉だ
- 9) 最近のエネルギー動向
- 10) 空を飛ぶ虫たち
- 11) トンボの形は不思議な形

上記に内容で、風・水・光エネルギー、特に、風エネルギーの重要性と中でも小型風力発電の着想の背景ならびに地域分散型発電や設置方法について、夢やアイデアから現実までをおおいに語っていただきました。また、現場サイドの考えから、具体的な納期短縮方法、構造簡略化、低コスト化などについても講演されました。最後に今後の夢の現実化に向けてのブレードの形として、昆虫の羽根からトンボの羽根型を発想されました。



写真 2 講演中の麻生正憲氏

講演Ⅱ：「風力発電とブレード」中武 靖仁

- 1) 開発・研究の動機
- 2) 風車の種類と特性
- 3) 風力発電用風車と要素
- 4) 風力発電の傾向
- 5) 問題点と課題
- 6) 発電効率と定格出力
- 7) 開発・研究の現状と事例
- 8) ブレード形状の動向
- 9) 小型プロペラ風車の新技術への期待

上記の内容で、小型風力発電の要素の中でブレードの形状について、現在の開発・研究事例を挙げながら、将来の動向と現状報告ならびに今後の計画について講演しました。

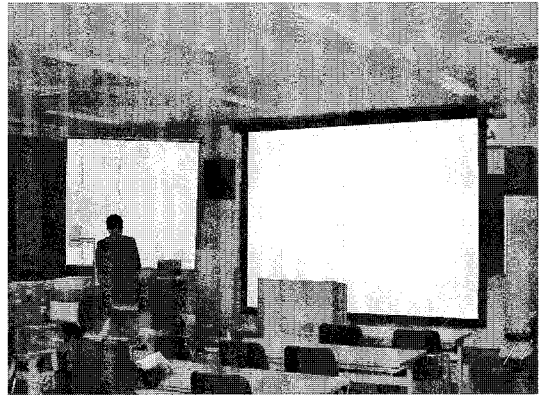


写真 3 講演中の中武靖仁氏

講演Ⅲ：「FRP 概論」—ブレードに利用する FRP—
川北 克美

- 1) FRP 概論
 - 1-1) FRP (Fiber Reinforced Plastics)
 - 1-2) 構造材としての他材料との比較
 - 1-3) 耐候性
 - 1-4) 耐用年数と環境による限界応力の低下
 - 1-5) FRP 安全設計及びその安全率
 - 1-6) 耐食機器例の紹介
- 2) 風力ブレードとしての FRP
 - 2-1) ブレードにもとめられる条件
 - 2-2) ブレード概略構造及び荷重
- 3) 今後のブレード用 FRP の動向
 - 3-1) 軽量化

上記の内容で、まず FRP の特性についてお話があり、次に、現場での FRP 成型の経験から、教科書では伝えにくい、作業者の差異、気温や湿度など作業環境の影響など、先端材料といわれる FRP の特性の良否が現場での経験や技、品質管理の規格化などに依存していることなどについて講演されました。また、風力発電用ブレード材料としての FRP の豊富な種類ならびに軽さと強さの魅力について講演されました。



写真 4 講演中の川北克美氏

講演終了後に行われたセミナーでは、風力発電設置にあたっての風況調査方法や不安定な風の取得方法などについての質疑がありました。また、風力発電の設備コスト、国や地方自治体からの補助の必要性ならびにハイブリッド発電などについて活発な意見交換がなされました。さらに、小型風力発電開発において課題とされる蓄電、エネルギー貯蔵方法あるいはコスト削減などについても議論がなされました。

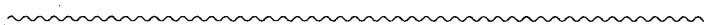
4. おわりに

今回のフォーラムは高専祭の期間と重なり聴講者

数の不安がありましたが、多数の企業関係者や学内の教職員をはじめ学生諸君、さらに講演者のご家族にも参加していただきました。

講演者の方々には、現場での経験から貴重で興味深い内容と資料をご提供いただきました。なお、当日会場にて配布された概要集のカラー原稿は、著者が保管しておりますので、ご覧になられたい方はお申し出下さい。

最後になりましたが、フォーラムの運営と会場の準備をしていただいた関係各位に、紙面をおかりして心よりお礼申し上げます。



平成13年度 編 集 委 員

委員長 柳 謙 一 校 長
副委員長 坂 翁 介 教 授
田 中 大 助 手
委 員 池 田 隆 助 教 授
今 井 良 一 教 授 (機 械)
西 出 傑 教 授 (電 氣)
前 田 道 治 講 師 (制 御 情 報)
鎌 田 吉 之 助 教 授 (応 化)
松 原 安 宏 教 授 (材 料)
川 越 茂 敏 教 授 (数 学)
山 崎 有 司 講 師 (物 理 ・ 化 学)
坂 元 宏 志 教 授 (外 国 語)
松 尾 一 助 教 授 (国 語 ・ 人 文)
木 寺 英 史 助 教 授 (体 育)
石 井 邦 彦 庶 務 課 長

平成14年3月8日 印刷

平成14年3月15日 発行

紀 要 第17卷 第2号

〒830-8555 久留米市小森野一丁目1番1号

編 集 兼
發 行 者

久留米工業高等専門学校

TEL 0942-35-9300

〒815-0035 福岡市南区向野2丁目13-29

印 刷 所

秀巧社印刷株式会社

MEMOIRS
OF
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 17 No. 2
(MARCH 2002)

CONTENTS

Origins and Developments of The Industrial Design —Trend in Europe and The United States of America (1) —Masatoshi FUJITA... 1
Static Performance Characteristics based on an Approximate Analysis of Salient Rotor Half-Speed Brushless DC MotorTakemi KAWAGUCHI... 13
Experimental Study on Dynamic Characteristics ... of Salient Rotor Half-Speed Brushless DC Motor	{Takemi KAWAGUCHI... 21 {Takanori KOGA
Construction of a Mathematical Model for Control System of Sterilization Apparatus	{Shoji ESAKI {Takashi MATSUNAGA... 29 {Muneyoshi TADA
Vapor Pressure Measurements of Arsenic Gas Formed by Dissociation Reactions of FeAs ₂ Compounds	{Koki SHIGEMATSU {Mikio UMAKOSHI ... 35 {Jinichirou KUBO {Kouichi KOGA
A Study on the TOEIC Test —Evaluation of the TOEIC Test as One of Teaching Materials —Takanori ESHIMA... 43
On the Complication of the Ofumi (御文)Hajime MATSUO... 51
Solving the Conductive Heat Transfer Calculations with the Aid of "Excel"Kinzo SUGIMORI... 67
The 9 th forum of Regional Collaboration Centre in Kurume National College of Technology Reuse of waste oil	{Kanji TOMIOKA... 73 {Hidefumi KATO
The 10 th Joint Forum between KNCT and Industry, Education & Citizens world — Concept of Local Information Network and its Application in 21 Century —	...Noriyuki AKASAKA... 77
11th Joint Forum of Kurume National College of Technology Regional Collaboration Center ... — Fascinated by Wind Power Generation —	{Yasuhito NAKATAKE ... 81 {Masataka YONEKURA