

米 欧 の 電 気 工 学 (I)

森 脇 義 雄

筆者は文部省在外研究員として昭和 34 年 2 月 6 日に日本を出発、米国西海岸で大学と工場を 8 か所、Boulder (Colorado 州) の N. B. S., Urbana のイリノイ大学を見学して、2 月 22 日ニューヨークに到着してから、Polytechnic Institute of Brooklyn の Microwave Research Institute で昭和 35 年 8 月末まで約 1 か年半の間 switching circuit の研究を行ない、8 月末日ニューヨークを出発、9 月 5 日から 15 日までロンドンで開催された国際電波科学連合第 13 回総会に日本代表として出席、その後欧州各国を視察して 10 月末日帰国した。この間、米国では主としてニューヨーク付近の大学、研究所、工場等を三十数か所視察し、欧州では英国、スウェーデン、ドイツ、フランス、スイス、イタリーの各地で 22 の大学・研究所・工場を視察した。これらの視察にあたり、自分の狭い専門分野における見学・討論だけでなく、できるだけ広い範囲にわたって見るように心掛けたのではあるが、時間の関係その他の理由により、多くの場合に一小部分を見ることで満足せねばならなかった。その上に、自分が受け入れることができる範囲があまり広くないために、かなり帯域幅の狭いフィルターを通して受信しているようなものであるから、以下の記述も“よしのずいから色めがねでのぞく”ことになっていると思うが、多少でもご参考になれば幸いである。

ニューヨークの気候

ニューヨークで約 1 年間を過ごすことにきめてから、最近ニューヨークで約 2 年間を過ごしてきた尾上助教授に同地の事情をいろいろ尋ねた。そのとき同氏から得たもろもろの情報のうちで最も印象に残っているのは、ニューヨークは夏暑く冬寒い非常に気候の悪いところで、ここに住める人なら地球上のどこにでも住むことができるといわれているくらいだ、という点であった。しかし、実際にこの猛暑酷暑の地で約 1 年半を過ごした経験では、それほどひどいところではないように感じている。

なるほどニューヨークの冬はたしかに東京よりは寒い。1 月中旬から 2 月中旬にかけての平均気温は 0°C であるが、日々の変動がかなり大きく、一日の平均気温が -10°C 、最低が -15°C ぐらいの日もしばしばある。このように低温のときに風が強いと、耳おおいなしで歩くことは困難で、数分間ごとに喫茶店に入って暖をとらなければ続かない。しかし何といても室内は昼夜を通じ 18°C 以上で暖かく、身体に接している空気の平均温度

は東京の冬よりかなり高いので、東京にいたときよりは薄着をしていた(外出のときでも)にもかかわらず、それほど寒いとは感じなかった。外気の湿度は $50\sim 90\%$ であるが、これを 20°C もあたためるため、室内の湿度は 10% ぐらいしかなく、あるデパートで売っていた湿度計の針がマイナスをさしているのを見たこともあった。

冬の暖房が徹底しているのに反し、夏の冷房はさすがのドルの国でもまだ十分普及しておらず、短距離の鉄道や学校等は冷房がないものが多く、ホテルやアパートでも冷房付きのはかなり高級に属する。一日の平均気温は 7 月下旬が最も高く 25°C ぐらいであるが、最高気温は 35°C をこえることもあり、しかも予想に反して $50\sim 90\%$ という高い湿度の日が多く、大体東京と同程度のむしあつさである。建物は冬の保温に適する構造になっているから、夜でも $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ を保って、寝苦しいこともしばしばであった。

夏季の高温が人体に与える不快感は温度だけでなく湿度も大いに関係があることは周知のとおりであるが、両者の総合的な影響を表示するために、1959 年 6 月から“Temperature Humidity Index (T. H. I)”なる数字を気象台が発表するようになった。これは華氏で表わした乾球温度と湿球温度の和の 0.4 倍に 15 を加えたもので、T. H. I が 70 をこえると不快に感ずる人が出始め、75 以上では約半数、80 以上になると大部分の人が不快に感じ、miserable に感ずる人もかなりあるようになるという Index である。初めは“Discomfort Index”といていたが、さすがのアメリカ人もこの名称は discomfortable であるとて反対が多かったため、T. H. I と改称した。たとえば $T=82, H=48$ のとき $T. H. I=75$, $T=82, H=71$ のとき $T. H. I=78$, $T=89, H=34$ のとき $T. H. I=78$, $T=89, H=62$ のとき $T. H. I=82$ といったぐあいである。筆者がいた研究所では冷房がないので、毎時発表される T. H. I が 80 をこえると、その日は全員早退という文明国らしい? 処置をとっていた。

米 国 の 大 学

米国内では Polytechnic Institute of Brooklyn (P. I. B) のほかに、San Francisco 付近で Univ. of California at Berkeley と Stanford Univ., Los Angeles で California Institute of Technology (C. I. T) と Univ. of California at Los Angeles (U. C. L. A.), Illinois 州 Urbana で

Univ. of Illinois, New York で Columbia Univ. と New York Univ (N. Y. U.), Princeton の Princeton Univ., Boston 付近で Harvard Univ. と Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.), Syracuse の Syracuse Univ., Ithaca (New York 州) の Cornell Univ., Philadelphia 付近で Univ. of Pennsylvania と Swarthmore College の諸大学を見学した。これだけでは代表的な大学を網らしているとはいえないし、また筆者が見学したのは電気関係の研究室、教育施設だけであり、意見を聞いたのは電気関係の教官だけであるから、米国の大学全般について論ずる資格はもちろんだが、これらの訪問を通じて筆者が受けた印象を記してみよう。



写真 1 コロンビア大学の入口

米国の学制はわが国とほぼ同じで、6才で小学校に入学してから12年間勉学の後、ほぼ18才で大学に入学する。大学では原則として入学試験はやらす、高等学校の成績がある基準以上であれば入学を許可される。しかし入学後の教育はかなり厳しく、必修科目に合格しなかったり、単位数が不足であったりすれば、いつまでも卒業できない。各科目の試験では成績が悪ければ速慮なく不可をつけられるし、宿題も豊富に出されるので、週末にデートを楽しむ余裕はほとんどないらしい。能力不十分のため脱落する者がかなりあり、また学費もかなり高いので、経済的理由から脱落する者も多く、卒業する学生数は入学者の半分ぐらいになるところもあるようである。

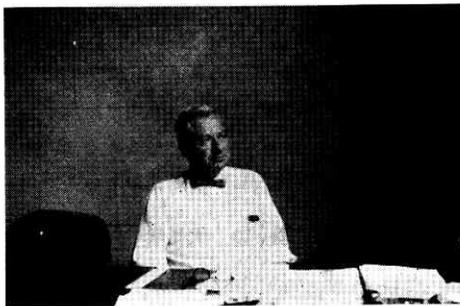


写真 2 Hazen 教授 (Dean of Graduate School, M. I. T)

電気科の学部における課程は次第に基礎的なものになってきているが、これは応用的な面は数年後には変わっ

てしまうものが多いから、大学では基礎を十分活用できる程度に教えるのがよいという理由による。しかし大学院の講義にはかなり専門的なものが多く、P. I. B. の例をあげると、毎週2時間で2学期間の講義が13、毎週2時間1学期間の講義が約50も用意されている。これに対し学部の講義は2倍余の期間で42(内必修は12、1

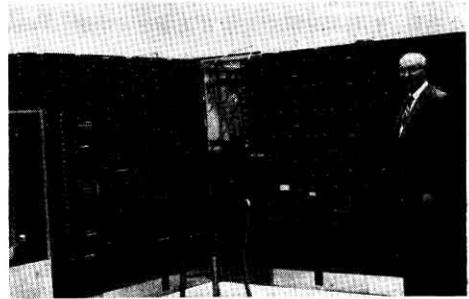


写真 3 U. C. Perkeley の教育用計算機と Morton 教授

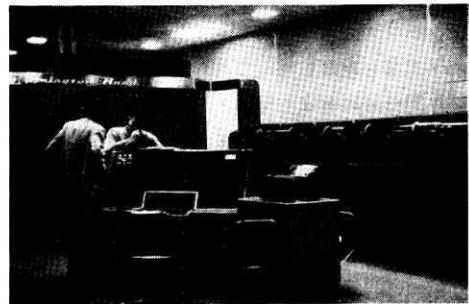


写真 4 Pennsylvania 大学の計算機 Univac

科目の単位数は2ないし4)である。実験設備は大学により大差があり、わが国と同程度のところもあれば、シンクロスコープなどをふんだんに学生に使わせて、近ごろは学生実験設備に金がかかるようになって困るところもあつた。電子計算機の使用法やプログラミングの初歩を教えるところも多く、プログラミングの講義をいくつか用意している大学もある(これはその大学に設備されている計算機を利用する研究者のためでもある)。

米国独自の傾向として、エレクトロニクス関係の工業や研究所からの卒業生に対する需要が圧倒的に多く、どの大学でも学生の90%以上がエレクトロニクス志望で、強電関係の講義は次第に整理され、電気機械はエネルギー変換の講義の一部として扱われ、ある種の講義は開店休業の状態。なかには高圧実験室は広い場所をとるからというので、設備を売り払って、建物を弱電関係の研究室に転用したという大学もあり、教官もほとんどが弱電の講義・研究を行なっている。ある大学の教授の話では、昔は強電と弱電の2分野であったが、最近では自動制御、エレクトロニクス、半導体、等々の新分野ができ

て、合計 8 分野ぐらゐに分類され、いわゆる強電はその一つとして、全体の 1 割ぐらゐにしか当たらないのは当然であろうとのことであった。

一学年の学生数は 40~60 名のところもあるが、200~300 名の多数を（電気科だけで）毎年入学させるところが多い。実験はもちろん 2~4 名を 1 組としてやらせるが、講義も大きな講義室でやるということせず、一クラス 30 名以下の数クラスに分けて行なうから、クラスによって異なる教官の講義を受けることになる。この講義に当たるのは教授や助教授だけでなく、instructor も多数いるから、クラスによって講義の内容が異なることのないように各科目に course director がいて、不公平のないように調整している。学生は講義中でも活発に質問するし、宿題も出して、教官と学生の密接な接触を保っていくためには、一クラスの人数を 30 人より多くはできないのである。講義中に遠慮なく質問するという気風は卒業後まで持ち越され、研究所内のセミナーなどではもちろんのこと、外部の人を招いて講演してもらおうときさえも、講演の途中で質問をする人をしばしば見受けた。

大学における研究は主として付置研究所で行なわれ、学部における研究は大学院学生の論文研究の指導が主で、あまり活発でないところが多い。付置研究所の研究費はおもに政府（軍を含む）の委託研究費でまかなわれ、research associate とか research fellow などとよばれる補助員の給料もこれから支出される。軍の委託研究といえばすぐに極秘を連想するが、大部分は基礎的なもので、研究成果の発表も自由である。

教官には professor, associate professor, assistant professor の 3 階級があり、assistant professor は一時的な地位で、ある期間業績が挙げられないと契約を解除される。Assistant professor から associate professor への昇進は最も人念に審議され、associate professor になると、特別の事情のない限り定年まで勤続できる。最近では工業からの引き抜きがさかんで、優秀な教官を引き留めるのに苦労しているところが多い。

欧州の大学

欧州で見学した大学は London の University College, Stockholm の Royal Institute of Technology, ドイツの München と Aachen の Technische Hochschule, および Roma の Università Di Roma のわずから 5 大学であるから、これから欧州の大学の長を抽出することは困難であるが、米国外およびわが国の大学と著しく異なる点がかかなりあるので、特に注意をひいた点を書き並べてみることにする。

欧州の学制はわが国の旧制の学制に近い。およそ 19 才ないし 20 才で大学に入学し、4 年ないし 5 年で卒業



写真 5 Meinke 教授 (Tech. Hoch. München)

するから、卒業時の年齢は米国にくらべて 2~3 才上である。(ドイツの Technische Hochschule は名称は工業高等学校であるが、内容は大学と同等である)。米国の associate professor に相当するものはもちろんなく、assistant professor 相当のものもない。教官は、full professor だけで、講義の大部分を担当し、それぞれ "Institut" なる一城のあるじである。各 Institut には数名の助手がいて、それぞれ居室と研究室を持って、教授の指導の下に研究および学生実験の世話をしている。助手の中の少数の者は講義も担当している。教授と助手の中間に Lecturer, Dozent などの名で講義を担当する者がいる大学もある。

一学年の学生数は概して多く、100 ないし 1000 名に及び、これを分割せずに大きな講堂で講義している。ときに演習問題の答案を提出させることもあるが、採点はせず、ただスタンプを押して返すだけである。学生に強制的に教えこむというのではなく、学生が勉強する機会を与えるのであって、学生が自分で勉強するようにしむけるという行き方である。成績は学年末の試験の結果で定まるが、採点は非常に厳格で、4 年または 5 年の期間で所要の単位をとって卒業できる学生は少なく、大部分は半年あるいは 1 年多くかかるのである。

入学試験はしないところが多く、志願者の増加と共に設備を増して教育に支障がないようにしている。München の Tech. Hoch. の電気科では 650 名の志願者中から試験により 300 名を入学させた由であるが、Aachen では 600 名の志願者全部を入学させている。Roma 大学では 1000 名の志願者を全部入学させるが、途中で脱落する者が多く、卒業するのは 300 名足らずの由。また電力方面へ進む者は米国に比してかなり多く、強電と弱電の比は 5:5 ないし 3:7 ぐらゐである。

欧州では戦前のおわが国と同様、大学へ進む者の割合が比較的少なく、英国においてことにはなはだしいが、ドイツでは次第に増加して、設備を拡張しているように見受けられた。博士の学位は論文の審査のみで授与されるが、ローマ大学では 5 年間の大学を卒業すると Dr. Ing. の学位を与えられる由である。またこの大学で特に興味

がある点は試験を口問口答で行なっていることであって、一人の学生に1時間近くかけてやり、筆問筆答よりは本当の実力がわかるといっていた。

余談であるが、米国では full prof. でも adjunct prof. でも同様に prof. とよぶので、学位を持たない prof. もかなり多く、したがって学位を有する prof. に対しては prof. とよぶよりは Dr. とよぶ方が尊敬していることになる。これに反し欧州では prof は相当高い地位であり、Dr. よりも prof. の方がはるかに少ないから、prof. とよぶ方が尊敬していることになるわけである。なかには Prof. Dr. と二つ並べて書く人もある。またドイツでは prof. は一つの称号でもあって、会社に勤務している人でも十分な学力があれば大学の ausserordentlicher professor (無給)として prof. の称号を保有することができる。

ブルックリン工科大学

(Polytechnic Institute of Brooklyn)

この大学はニューヨークのブルックリン区の downtown にある米国でも有数の工科大学で、化学、応用数

第1表 ブルックリン工科大学電気工学科の標準課程

Freshman I. Sem		Freshman II. Sem	
Chemistry I	2-0-2	Chemistry II	2-3-3
English I	4-0-4	English II	4-0-4
Language or History I	3-0-3	Language or History II	3-0-3
Mathematics I	4-0-4	Mathematics II	4-0-4
Technical sketching	1-3-2	General physics II	3-3-4
General physics I	2-0-2	Physical education	0-2-0
Physical education	0-2-0		
Orientation	1-0-0		
Sophomore (1959-60) I. Sem		Sophomore (1959-60) II. Sem	
Descriptive chemistry	2-3-3	Mechanics I & II	4-0-4
Circuit theory I	4-0-4	Circuit theory II	3-3-4
English III	2-0-2	English IV	2-0-2
Language or History III	2-0-2	Language or History IV	2-0-2
Mathematics III	4-0-4	Mathematics IV	4-0-4
General physics III	3-3-4	Descriptive geometry	1-3-2
Physical education	0-2-0	Physical education	0-2-0
Junior (1960-61) I. Sem		Junior (1960-61) II. Sem	
Electromagnetic fields	3-0-3	Fields and waves	3-0-3
Network analysis	4-0-4	E. E. Laboratory	0-6-2
E. E. Laboratory I	0-3-1	Electronic networks	3-0-3
Transients and tubes	3-0-3	Electromech. systems	3-0-3
Economics I	3-0-3	Economics II	3-0-3
Mathematics V	4-0-4	Random variables	3-0-3
Senior (1959-60) I. Sem		Senior (1959-60) II. Sem	
Eng. mechanics II	2-0-2	Physical electronics	3-0-3
Mech. of materials	2-0-2	English VI	2-0-2
Fields and waves	3-0-3	Four elective credits	4
Feedback systems	2-0-2	Nine concentration* credits	9
English V	2-0-2		
Two elective credits	2		
Four concentration* credits	4		

* Concentration courses specialize in the fields of control, communications, and power.

数字は講義時間数—実験(実習)時間数—単位数

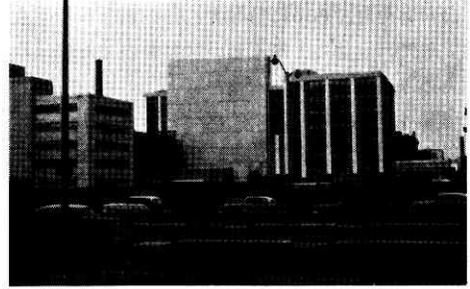


写真6 ブルックリン工科大学

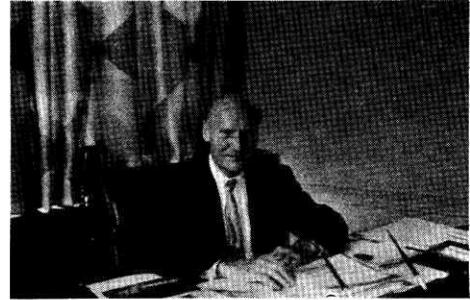


写真7 Weber 総長 (P. I. B)

学、物理学、航空工学、化学工学、土木工学、電気工学、機械工学、金属工学の諸学科および独立のマイクロ波研究所(後述)があり、Ernst Weber 総長の下に professor 66 (14), associate professor 58 (15), assistant professor 58 (12), instructor 42 (11), adjunct professor 65 (17) を有している。()内は電気工学科の教官数である。修業年限は昼間のコースは4年間、夜間も同等のコースがあるが、必要な単位をとるのに6年ぐらいかかる。大学院も昼および夜のコースがあり、昼間で修士は1年以上、博士は3年以上であるが、part time で研究助手をしながら勉強する者が多いから、修士に2年、博士に5年以上を要する者も少なくない。ことに夜間の博士コースを終了する者はきわめて少数である。

電気工学科の標準課程はしばしば改訂されているが、第1表にその一例を示す。この中で Senior (1959-60) 第1学期の Eng. mechanics II と Fields and waves は改訂された課程では Sophomore (1959-60) 第2学期および Junior (1960-61) 第2学期へそれぞれ繰り上げられている。毎学期18単位が標準で、経済や語学が高学年まで分

布しているのは米国のどの大学にも共通の傾向である。

第 2 表は電気工学科修士課程の履習科目である。

第 2 表 ブルックリン工科大学電気工学科
修士課程の履習科目

Fundamentals of linear systems	2-0-2
Theory of linear systems	2-0-2
Complex variables	2-0-2
Selected topics in transients	2-0-2
Vector analysis	2-0-2
Electromagnetic theory I, II	4-0-4
Seminar in electrical engineering I, II	0
Thesis	8
Electives	8以上

マイクロ波研究所

(Microwave Research Institute of the
Polytechnic Institute of Brooklyn)

筆者が米国で約 1 年半を過ごしたこの研究所はブルックリン工科大学の本校から約 100 m 離れたところにある 6 階建の古い建物を使用しており、所長 Nathan Marcuvitz 博士の下に三つの “group” があり、各 group

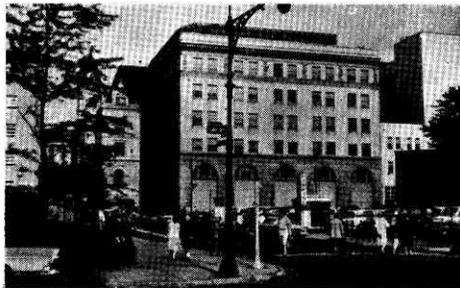


写真 8 マイクロ波研究所



写真 9 Marcuvitz 所長 (M. R. I.)

には 3 ないし 4 の “section” があって、マイクロ波および自動制御関係の研究を活発に行なっている。研究所の陣容は 1960 年 3 月現在で次のとおりである。

所長 Dr. Nathan Marcuvitz	
副所長 Dr. H. J. Carlin, Dr. J. W. E. Griemsmann	
Research supervisors J. Fox, Dr. A. B. Giordano	
Faculty and senior staff	33
Research associates and instructors	26
Research assistants and research fellows	31

Engineering assistants, technicians and computers	36
Drafting room	13
Model shop	6
Office staff	17
計	167

この中には研究所専任の教授が所長、副所長 2 を含んで 4 名、准教授 (associate prof.) が 4 名、助教授が 4 名おり、いずれも学部の講義は担当しないが、大学院の講義をいくつか担当している。他に学部の教官で研究所兼任の教授 (電気・物理・化学) が 4 名、准教授が 7 名、助教授が 4 名いる。外国人研究者で学位を有する者は Research associate、学位を有しない者は research assistant に入れられるのが普通であり、これらの二つの階級の人々が研究の主力となっていることは他の研究所と同様である。筆者が到着したころは日本人の研究者が 7 名もおり、従来いた人々と共によい研究をしていたが、次第に減少して、筆者がニューヨークを去った後、最後の岡田幸雄博士も他の会社に移られ、とうとう零になってしまった。

各 group および section の名称は次のとおりである。

- Electrophysics group
 - Microwave tubes
 - Non-conventional waveguides
 - Quasi-optics and multimodes
 - Solid state
- Networks and waveguides group
 - Circuit theory
 - Components research
 - Instruments and special devices
 - Solid state applications
- Systems and control group
 - Active networks
 - Information
 - Nonlinear magnetics and computer

三つの group の中で第一の Electrophysics group は所長の Marcuvitz 博士が group head を兼ね、最も活発な研究活動を行なっている。1958 年から Marcuvitz 所長はプラズマの研究に力を入れ、みずからプラズマの基本式を導いて所員に講義すると共に、この分野における所員の研究を奨励指導している。プラズマ中の現象をマイクロ波のビームで調べたり、大電力のマイクロ波とプラズマの干渉現象などを研究する一方、静磁界中の中性ガス分子中を通過した電子ビームが形成するプラズマ中のイオン振動現象の実験なども行なっている。マイクロ波真空管関係では多段はしご形回路を用いてミリ波を発生する進行波管や、磁界で集中したビーム中の集群現象などの研究も行なわれている。

導波管関係では stripline, trough waveguide や不等方向性の媒質を含む導波管、周期的構造を有する導波管、ミリ波用多重モード円形導波管などの特性の研究が行なわれている。円筒形、くさび形、円すい形などの導体に

よる放射および散乱，正弦的に特性が変化する表面に平面波が入射したときの散乱現象などもこの group の研究分野である。

Solid state 関係ではニッケル鉄の薄膜の特性，二重モード空洞共振器による electron magnetic resonance の研究， CdF_2 中の希土族元素不純物の影響などの研究が行なわれている。

第二の Networks and waveguides group は副所長 2 名が group の head を兼ねており，集中および分布定数回路の一般理論とそのマイクロ波回路への応用，新しいマイクロ波回路の開発，半導体の応用などが研究されている。

回路理論の研究としては非可逆性回路の特性，線形 2 N 端子の基礎理論，分布定数回路を素子として含む二端子回路網の実現条件，Hall-plate の理論，負抵抗を含む線形回路網の広帯域整合および利得と帯域幅の積の限界などに関するものがある。

マイクロ波回路関係では，プラズマの研究と関連してピーク 50 MW，平均電力数十 kW 程度の大電力マイクロ波を“traveling-wave microwave flywheel”によって発生することが研究されている。これは非常に長い環状導波管にマイクロ波のパルスを繰り返して加えることにより数倍のピーク電力を得んとするもので，フェライトまたは強誘電体による高速度スイッチの研究も並行して行なわれている。誘電体棒上の伝搬特性，干渉波長計，平行板間に誘電体を入れた導波器などの研究もこの部門で行なわれている。

第三の Systems and control group は電気科長の J. G. Truxal 博士が head で，自動制御の新方式，情報理論の応用，飽和鉄心リアクトルの応用，接点回路の合成法などに関する研究が行なわれている。

自動制御関係では 計算機を制御素子として用いる adaptive control system について多くの研究が行なわれている。この方式は被制御系の特性が非常に複雑であったり周囲の条件によって変化したりする場合に特に重要になるものである。これに関連して，線形または非線形の系の伝達特性の決定法の研究も行なわれている。情報理論関係では高速模写電送方式，数値式符号器の設計，パルス伝送に関連した諸問題，雑音中の弱い信号の検出法などについて研究している。

飽和鉄心リアクトルを含む回路の関係ではパルス形成法の改良，半波磁気増幅器の解析，薄い磁性テープの磁心としての特性の研究などが行なわれている。この nonlinear magnetics and computer section は筆者が籍を

おいた section であるが，ここで岡田幸雄博士を中心として接点回路合成法の研究が行なわれていたのに参加して，接点数の最も少ない回路を決定する方法について研究を行なった。

いくつかの継電器を組み合わせて所要の開閉特性を満足する回路を求めるのに，従来一貫した方法はなく，多くは直観的な方法または cut and try で解を求めていた。したがって，得られた解が最小接点数のものであるかどうかは明らかでなかった。この最小接点数の解を求めるために，与えられた特性を満足する条件をまず求め，この条件を満足するマトリクスの中から実現可能なものを求めることにより，最小接点数の回路を決定することができるようになった。継電器の数が多くなるに従って，吟味すべきマトリクスの数が非常に大きくなるので，IBM 650 型計算機により計算を行なうことができるプログラムの作成も行なった。使用継電器数が同じであっても，与えられた特性のいかんにより，計算に要する時間には大差があり，複雑なものについては計算の手続きを簡単にする可能性を，なお研究する必要がある。

筆者が使用した IBM 650 型計算機は P. I. B. の本校内の Computer Center に 1960 年 3 月に設置されたもので，学内の利用者は自分でプログラムを作って計算するのである。この計算機には FOR TRANSIT という簡易プログラム法があり，3 時間 3 回の講習が行なわれて，初心者でも利用できるようになった。筆者はもう一歩進んだ SOAP II A というプログラム法を Computer Center のプログラマーから教わって使用したが，少し後にこれについての講習も行なわれた。その他，Bell System なる浮動小数点式のプログラム法も用いられていた。筆者がニューヨークを去るころには毎日昼休みはもちろん，夕方 7~9 時ごろまで一ぱい予約されているという繁盛ぶりであった。

研究所は一応上述のように group および section に分かれているが，group 間あるいは section 間の連絡は比較的良好で，また研究がある段階に達するごとにセミナーで発表して討論を行なっている。所長が力を入れている関係もあって，セミナーはプラズマ関係のものが特に多かった。

これらの研究成果は 3 か月ごとに Quarterly Progress Report として，また成果がまとまったものはそれぞれ MRI Report として印刷されて，関係方面に配布されている。(1960. 12. 21)

—以下 4 月号—