

JAERI - M
89-012

第5回「原子力におけるソフトウェア開発」
研究会報告集

1989年2月

原子力コード研究委員会・炉物理研究委員会
(編) 長谷川 明・前川 洋
藤木 和男・原田 裕夫

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

第5回「原子力におけるソフトウェア開発」研究会報告集

日本原子力研究所東海研究所
原子力コード研究委員会・炉物理研究委員会
(編) 長谷川 明・前川 洋
藤木 和男・原田 裕夫

(1989年1月17日受理)

本報告書は、昭和63年10月17～18日に、日本原子力研究所東海研究所において開催された第5回「原子力におけるソフトウェア開発」研究会での発表論文の内容を収録したものである。研究会は、原子力コード研究委員会と炉物理研究委員会の共催によって行われた。本研究会での発表論文の概要は、原子力研究者のためのコンピューター・ネットワークとのタイトルのもとに、(1) ネットワークの現状と将来、(2) ネットワークの応用例、(3) パネルディスカッション：原子力分野におけるネットワークの利用（現状と今後への期待）、環境シミュレーションソフトの最先端とのタイトルのもとで、(4) チュルノブイリ事故を題材とした地球規模拡散シミュレーション、及び(5) 放射性物質の海洋中拡散や地層処理処分シミュレーションに関するものである。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

プログラム・組織委員会：

炉物理研究委員会 - 金子 義彦，前川 洋，長谷川 明（原研），
白方 敬章（動燃），関本 博（東工大），
山本 宗也（NAIG），野上 隆則（事務局原研）

原子力コード研究委員会 - 佐野川 好母，藤木 和男，原田 裕夫（原研），
高橋 亮一（東工大），佐藤 一雄（動燃），
植木 紘太郎（船研），
藤村 藤一郎（原子力データセンター），
白土 幸保（事務局原研）

Proceedings of the Fifth Seminar
on Software Development in Nuclear Energy Research

(Eds.) Akira HASEGAWA, Hiroshi MAEKAWA
Kazuo FUJIKI and Hiroo HARADA

Nuclear Code Committee
and
Committee on Reactor Physics

Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 17, 1989)

These proceedings are the compilations of papers presented to the Fifth Seminar on Software Development in Nuclear Energy Research held at Tokai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), October 17 - 18, 1988. The seminar was organized in cooperation with Japanese Committee on Reactor Physics (JCRP) and Japanese Nuclear Code Committee (JNCC). The topics of seminar include the invited papers on the subjects: - Net work for Atomic Energy Research - (1) Present and future of Networks, (2) Applications of Networks, (3) Panel Discussion : Usage of Networks in Atomic Energy Research, - Frontier of Simulation Softwares for the Environment Safety - (4) Numerical Simulation of Grobal Scale Dispersion on the Chernobyl Accident, and (5) Ocianic Diffusion and Safety Evaluation of High Level Waste Disposal in Geological Media.

Keywords : Software, Nuclear Energy, Nuclear Code, Computer Networks,
Numerical Simulation, Environmental Safety, Grobal Scale
Dispersion, Chernobyl, Ocianic Diffusion, High Level Waste
Disposal, Proceedings

Programme and Organizing Committee

JCRP - Y. Kaneko, H. Maekawa, A. Hasegawa (JAERI),
K. Shirakata (PNC), H. Sekimoto (TIT), M. Yamamoto (NAIG),
T. Nogami (Secretariat, JAERI)

JNCC : K. Sanokawa, K. Fujiki, M. Harada (JAERI),
R. Takahashi (TIT), K. Sato (PNC), K. Ueki (SRI),
T. Fujimura (NEDAC), Y. Shirato (Secretariat JAERI)

目 次

1. 開会の辞	1
佐野川 好母 (原子力コード研究委員会委員長)	
2. ネットワークの現状と将来	2
座長: 佐藤 一雄 (動燃)	
2.1 ネットワークの現状と動向	2
本田 正典 (富士通 (株))	
2.2 異機種間のネットワーク	21
宮沢 正幸 (NTT 通信網総合研究所)	
3. ネットワークの応用例	46
座長: 高橋 亮一 (東京工業大学)	
3.1 電総研でのLANの現状	46
大石 東作 (電総研)	
3.2 大学における核融合研究のための計算機ネットワーク	57
阿部 芳彦 (名古屋大学プラズマ研究所)	
3.3 LANを用いた実験機器予約システム	71
久保 正雄 (埼玉大学分析センター)	
3.4 研究環境とBITNET	78
廣瀬 健 (早稲田大学情報科学研究教育センター)	
4. パネルディスカッション.....	81
原子力分野におけるネットワークの利用 (現状と今後への期待)	
座長: 河原崎 雄紀 (原研)	
4.1 原子力関係者のためのネットワーク	81
岩田 修一 (東大工)	
4.2 原子力ネットワークを使って21世紀の原子炉概念を進化させよう	82
中沢 正治 (東大工)	
4.3 原子力分野におけるネットワークの利用	86
山野 直樹 (住友原子力工業)	
4.4 原研のデータベース整備	91
菊池 康之 (原研)	
4.5 BITNET の6箇月間の使用経験	98
峰原 英介 (原研)	
4.6 INISデータベース	100
古谷 実 (原研)	
4.7 パネルディスカッション要約	108

5. 環境シミュレーションソフトの最先端 - 1 -	114
座長：植木 紘太郎（船舶技研）	
5.1 SPEEDIの広域・高層化とチェルノブイル拡散シミュレーション	114
石川 裕彦, 茅野 政道, 山沢 弘実, 森内 茂（原研）	
5.2 チェルノブイル事故による放射性物質の地球規模拡散シミュレーション	127
木村 富士男（気象研）	
6. 環境シミュレーションソフトの最先端 - 2 -	139
座長：松鶴 秀夫（原研）	
6.1 排液の海洋拡散シミュレーション	139
片野 尚明, 水島 雅文, 中敷 憲和（電中研）	
6.2 高レベル廃棄物地層処分評価コードの開発と現状	158
木村 英雄, 山下 亮（原研）	
7. Predicting the Transport of Contaminants in Geologic Media	176
T.H. Pigford, P.L. Chambre and W.W-L. Lee (Univ. Calif. Berkley)	
8. 閉会の辞	192
金子 義彦（炉物理研究委員会委員長）	
付録 研究会出席者名簿	194

Contents

1. Opening Address	1
K. Sanogawa (Chairman of Japanese Nuclear Code Committee)	
2. Present and Future of Network	2
Chairman : K. Sato (PNC)	
2.1 Network, Today and Future	2
M. Honda (Fujitsu Ltd.)	
2.2 Telecommunication Networks Involving Heterogeneous Systems ..	21
M. Miyazawa (NTT Corp.)	
3. Applications of Network	46
Chairman : R. Takahashi (Tokyo Inst. Tech.)	
3.1 Current Status of Local Area Network in Electrotechnical Laboratory	46
T. Oishi (Electrotechnical Lab.)	
3.2 Present Status of Computer Network at IPP	57
Y. Abe (Nagoya Univ.)	
3.3 Booking System of Analytical Instruments Applied with LAN ...	71
M. Kubo (Saitama Univ.)	
3.4 Current Status of BITNET	78
K. Hirose (Waseda Univ.)	
4. Panel Discussion	81
Usage of Networks in Atomic Energy Research	81
Chairman : Y. Kawarasaki (JAERI)	
4.1 Utilization of Computer Networks for Nuclear Applications ...	81
S. Iwata (Univ. of Tokyo)	
4.2 Evolution of Next Century Reactor Concept on Computer Network	82
M. Nakazawa (Univ. of Tokyo)	
4.3 Utilization of Computer Network for Nuclear Society Utilization of Nuclear Design Codes	86
N. Yamano (Sumitomo Atomic Energy Industries, Ltd.)	
4.4 Development of Database in JAERI	91
Y. Kikuchi (JAERI)	
4.5 Experience for the first six months as a BITNET Beginner	98
E. Minehara (JAERI)	
4.6 INIS DATABASE	100
M. Furuya (JAERI)	

4.7	Panel Discussion Summary	108
5.	Frontier of Simulation Softwares for the Environmental Safety - 1	114
	Chariman : K. Ueki (Ship Tech. Inst.)	
5.1	Extension of SPEEDI Computational Area and the Application to Chernobyl Accident	114
	H. Ishikawa, M. Chino, H. Yamazawa and S. Moriuchi (JAERI)	
5.2	Simulation of Global Scale Dispersion of Radioactive Pollutant from the Accident at Chernobyl	127
	F. Kimura (Meteorological Res. Inst.)	
6.	Frontier of Simulation Softwares for the Environmental Safety - 2	139
	Chairman : H. Matsuzuru (JAERI)	
6.1	Simulation of Ocianic Diffusion for Radioactive Effluent Released from the Nuclear Fuel Reprocessing Plant	139
	N. Katano, M. Mizutori and N. Nakashiki (CRIEPI)	
6.2	Recent Works on Safety Evaluation for High-Level Waste Disposal	158
	H. Kimura and R. Yamashita (JAERI)	
7.	Predicting the Transport of Contaminants in Geologic Media	176
	T.H. Pigford, P.L. Chambre and W.W-L. Lee (Univ. Calf. Berkley)	
8.	Closing Address	192
	Y. Kaneko (Chairman of Japanese Committee on Reactor Physics)	
Appendix	List of Participants	194

1. 開 会 の 辞

佐野川 好母（原子力コード委員会委員長）

原子力コード研究委員会と炉物理研究委員会の共催による「原子力におけるソフトウェア開発研究会」も今回で5回目を迎えることになりました。その主旨にご賛同頂きまして、遠いところをこのように多くの方のご参加を頂きましたこと、主催者と致しまして大変喜ばしく、厚くお礼申し上げます。

原子力の開発研究もはや30年が過ぎました。この間にデータベースの構築も含めまして、ソフトウェアの果たした役割は大きく、原子炉の設計、炉物理、炉工学、安全性、環境問題はもちろん、その他の基礎研究においても、シミュレーション手法の導入によるそれぞれの分野における発展は目ざましいものがあったと思いますし、皆様方の努力によって現在もなおより高度なものへと開発は休むことなく続けられているわけであります。

このようななかで、今回の研究会のメインテーマには、環境シミュレーション、サブテーマには原子力研究者のためのコンピュータネットワークが選ばれました。また、特別講師には、米国カリフォルニア大学、バークレイ分校の原子力工学科の主任教授で、廃棄物処理の権威であるビッグフォード教授をお迎えすることになりました。活発な討論を通じて、この研究会が有意義で実り多いものになることを期待しています。

なお、この前の研究会のときに皆様方からいろいろなご意見をお伺い致しまして大変参考になりました。今回の研究会に、それらの意見がすべて反映されるまでには至らなかったかも知れませんが、研究会の趣旨及びそのテーマの対象に何を選ぶかということに関しまして、懇親会の場を利用してでもきたんのないご意見を頂ければ幸いに思います。特に、テーマの選定につきましては、実行委員会の委員の努力にも限りがありますし、またそれだけでは十分とは言えません。今回は、研究会の案内状の中にアンケートを入れる試みも行いましたが、今後も両委員会の専門部会、サブワーキンググループなどを通じてより広く皆様方のご意見を頂戴したいと思っております。この研究会をより魅力的なものにするためにも、今後も是非皆様方のご協力をお願い致します。

次回は、昭和65年3月12～16日に、「原子力におけるスーパーコンピューティング」の国際会議が水戸で開かれることになっており、その機会を利用してこの国際会議と一緒に開催することを考えております。このことを一言付け加えまして私のご挨拶と致します。

2. ネットワークの現状と将来

2.1 ネットワークの現状と動向

本多正典 (富士通(株))

1982年10月の第二次通信回線開放及び得1985年4月の電気通信事業法案の成立は、情報通信ネットワークの構成や内容に大きな変化をもたらした。しかもLSI技術の進展によるアナログ信号からデジタル信号化は、通信技術の発展と共に各種メディアの統合、機器の小型化、通信経費の低減など様々な効果をもたらした。

ここでは、企業や大学、研究所等における情報通信ネットワークの変革をもたらした背景、情報通信ネットワークのベースとなる国内及び国際通信回線の状況について紹介する。また標準化の進んでいるLAN (Local Area Network) の現状と動向についても紹介する。

Network, today and future

Masanori HONDA (Fujitsu Ltd.)

The 2nd liberalization of the public telecommunication network in October 1982 and enforcements of new telecommunication laws in April 1985, have brought very drastic changes in the structure and the content of information communication network. Furthermore, the digitalization of the signal, which is supported by the progress LSI technologies as well as the development of the telecommunication technologies, have brought a variety of effects, such as the the integration of the various kinds of communication medias, the reduction of the equipment size and the reduction of the telecommunication cost, etc.

Now, I will introduce the background of such changes of the information communication network in the enterprises, universities and laboratories and the current status of the domestic and international digital leased lines which is the base of the information communication network. Also, I will present you the current status and future tendency of the LAN (Local Area Network), the standardization of which is now studied.

key word: information communication network, ISDN, high speed digital line, LAN

1. 序 論

1982年10月の第二次通信回線開放及び1985年4月の電気通信事業法案の成立によりNCCやVAN事業が本格的に始まった。また一方1984年11月から、従来のアナログ専用線に比べ、回線借用費用が安く、色々な特徴をもつ高速デジタル伝送サービスが開放された。更にデジタル化の波とともに通信処理技術やLSI技術の進歩とあいまって特に企業を中心として情報通信ネットワークの再構築が始まった。

ここでは、企業や大学、研究所等における情報通信ネットワークの変革をもたらした背景、情報通信ネットワークの構築事例と、そのベースとなる国内及び国際通信回線の状況について紹介する。また標準化の進んでいるLAN(Local Area Network)の現状と動向について紹介する。

2. なぜネットワークなのか

アメリカのJ. ネイスビッツが、西暦2000年に向けて提唱した10項目のメガトレンドの1つに「工業社会から情報化社会へ移行する」と言うのがある。それに符合するかのようになり、日本事務機械工業会が発表した10年後(1998年)のOA機器およびオフィス・サプライの生産額予測では、1998年には87年の約2.25倍の8兆7307億円になるとしている。また日本経営協会ではワープロ、ファクシミリ、パソコンというOAの3種の神器の普及率は90%以上で、1社平均の保有台数はそれぞれ27.2台、28.2台、61.8台になるとしている。その他のOA機器の普及も著しい。郵政省編の通信白書によると電気通信系の主要メディアの供給情報量は電話以外のデータ通信やファクシミリといった非音声系メディアの増加が非常に大きくなっている。

一方企業では規模の拡大と共に事業所数も増え、しかも上記のOA機器が各所で使われてくると、ヒト、モノ、カネを有機的に結ぶためのネットワークが必要になってきた。

こうした状況下にNTTから新しく高速デジタル伝送サービス(高速デジタル回線と略す)が開放された。この回線は従来のアナログ専用線に比べ、低価格でかつ高速(64K~6.3Mbps)伝送が可能で、メディアが制約を受けないという特徴を持っている。

このような環境にあって企業を中心として大学や研究所等でこれまでのネットワークを見直すとともに、新しくテレビ会議や電子メール等を提供するマルチメディアネットワークとして再構築し、企業グループネットワークやそれを更に発展させたSIS(戦略情報システム)を形成するなど経営基盤の強化を図るところが増えてきた。これらの情報通信ネットワークに対する主な期待は次の様なものである。

- ① 情報伝達の高速化と効率化
- ② オンライン化による利便化
- ③ 資源共用による経済化
- ④ 負荷分散による経済化
- ⑤ 通信経費の削減
- ⑥ デジタル化による高品質化、高信頼度化

- ⑦ ネットワークの一元化による柔軟性
- ⑧ 集中管理による運用の効率化

3. 各種情報通信ネットワーク

3.1 ネットワークの分類と特徴

3.1.1 ネットワークの種類

情報通信ネットワークを構成する通信メディアには、トポロジーや方式など色々なものがある。それをまとめるとTable 1のごとくなる。現在注目されている高速デジタル回線、ISDN、LANなどは下線を引いた内容の組み合わせが主な特徴でもある。

3.1.2 高速デジタル回線

後述する情報通信ネットワークの基礎になっている高速デジタル回線は、84年11月にNTTから開放になって以来、今年6月末で約750社、68900回線（64 Kbps換算）の需要に成ったという事である。その主な理由は次の様である。

- ① 通信回線費用の大幅な削減が可能である。
- ② 高速データ伝送やテレビ会議など新しいサービスの提供が出来る能力がある。
- ③ 伝送するメディアの制約がなく回線の有効利用が図れる。
- ④ マルチメディア多重装置のNSP (Network Service Processor)によりネットワークの一元管理が可能になった。

3.1.3 ISDN

日本では1988年4月から東京、大阪、名古屋を皮きりにISDNの実用サービスがはじまった。アメリカ、イギリスやフランスでは昨年より一部商品化が開始されている。日本におけるISDNは、CCITTの勧告に基づく2B+D（Bは64 K, Dは16 Kbps）であり、来春には23B+D, Ho（384 Kbps）、H1（1536 Kbps）やパケット交換サービスが追加される予定である（Fig. 1参照）。更に90年代前半にはH2（45又は32 Mbps）やH4（150 Mbps）といった広帯域ISDNのサービスが始まる。現在150 Mbpsに多様な通信を多重化して利用できる伝送方式ATM (Asynchronous Transfer Mode)の研究開発が進められている。

3.1.4 国際高速デジタル専用線

従来国際専用線は、CCITTに準拠した音声級のアナログ回線が主体であった。しかし1983年10月にインテルサットがIBS (INTELSAT BUSINESS SERVICES)の運用を開始してから、高速大容量デジタル伝送が可能になった。現在KDDではハイビット・リンクという名称で高速符号品目（48 K～2 Mbps）をサービスしている。国際通信事業は、KDDの他に第二KDD (ITJとIDC)が今年からサービスを稼働させる。〔ITJ：日本国際通信株、IDC：国際デジタル通信株〕

3.2 マルチメディア多重装置の現状と動向

現在デジタルの情報通信ネットワークを構築する上で最も重要な機器の一つとしてマルチメディア多重装置がある。Fig. 2はその基本機能を示す。回線側から回線インタフェース部、中央

処理部、端末インタフェース部に分けることが出来る。回線インタフェース部は高速デジタル回線や DDX や ISDN などのインタフェースを有し、高速デジタル回線から同期を取る機能がある。中央処理部には多重/分離、タイムスロットへの割り付け、ネットワーク監視装置とのインタフェースなどの機能がある。端末インタフェース部には音声信号の A/D 変換、圧縮 PBX とのデジタルインタフェースなどがある。ところでこれまで市販されている殆どのマルチメディア多重装置は

- ① 多重効率の向上
- ② 音声の圧縮 — 64 Kbps を 32 Kbps, 16 Kbps, 8 Kbps に
- ③ PBX とのデジタル接続
- ④ NSP によるネットワークの一元管理

などの機能が重点的に開発されてきた。これらの仕様は各社独自に開発してきたため異なるメーカー間の接続が難しかった。またネットワークはその企業のバックボーンとなりつつあり、そうした意味で今後必要な機能は次のようなものであろう。

- ① 標準化仕様の採用 — 多重方式, 圧縮方式, インタフェース等
- ② ネットワークの信頼度向上機能強化
- ③ 運用管理機能の強化 — 国内外ネットを配慮した運用管理方式
- ④ ネットワークのフレキシビリティ向上 — ISDN との連携, 衛星通信の利用
- ⑤ ソフトウェアによる機能強化 (ソフトウェアデファインドネットワーク)

3.3 LAN の開発と標準化動向

3.3.1 LAN の標準化動向

LAN をトポロジィで分類すると①スター型, ②リング型(ループ型), ③バス型になる。これらの LAN に使用されている伝送媒体は、撚対ケーブル, 同軸ケーブル, 光ファイバケーブルである。主なアクセス制御方式としては、CSMA/CD, 時分割多重, スロットッドリング, トークンパッシング, 周波数多重等が使用されている。これらの関係を Table 2 に示す。これらは Table 3 に示すように IEEE や ISO で標準化作業が進められており, IEEE 802.3/4/5 について国際標準化が勧告されている。光ファイバケーブルを伝送路にした所謂光 LAN は, IEEE でも標準化作業中(802.8 FOTAG)であり, 国内では光産業技術振興協会で作業が進められている。これらの LAN は, すべて 50 Mbps 以下の伝送速度である。ANSI では FDDI - I/II として 100 Mbps のデータおよびマルチメディアの LAN の標準化を検討している。

3.3.2 LAN の開発動向

Fig. 3 に LAN のハードおよびソフトの開発動向を示す。国内では光ファイバ通信システムの開発, 実用化が諸外国に比べて早かったため, 光 LAN の実用化が早い, 例えば筑波学園都市における工業技術院傘下の 11 の研究所を結んだ大規模なループ型の光 LAN がある(1980 年稼働)¹。この LAN は, センターの大型ホストコンピュータと各研究所に設置されている端末機器とを接

FOTAG: Fiber Optics Technical Advisory Group, ANSI: American National Standard Institute, FDDI: Fiber Distributed Data Interface

続しており、丁度構内モデムの代わりをしている。このようなLANの利用形態を通信路LANと呼ばれることが多い。

光LANのほとんどは、ループ型をしている。これは光レピータ（受信した光信号を電気信号に変換し、それを再び光信号に変換し光ファイバーに送出する機能を有する中継器）を使って微弱になった光信号を再生増幅する構成が採り易いためである。また当初導入ユーザの殆どが製造工場であり、光ファイバの特徴を最大に利用できたためでもある。

最近ではホスト間あるいはI/Oや端末機器との接続にバス型LANを用いることが多い。これらのLANは、機器とそれをサポートするソフトとが一体になって、一つのシステムを構成しているためシステムLANと呼ばれている。この種の代表的なLANとしてIEEE 8023（Ethernet）がある。このシステムは、米国で普及した。仕様が標準化されており高速（10 Mbps）で信号の授受を行うことができ、システムのフレキシビリティがあるため近年多く利用されている。（Fig. 4 参照）

最近上記のループ型やバス型のLANを接続し、更に音声や画像信号を伝送するバックボーンLANとして100 Mbps以上の速度のループ型光LANが市販されるようになってきた。その一例をFig. 5とTable 4に示す。このLANの速度は205 Mと410 Mbpsである。IN（インタフェース・ノード）にブリッジ機能があり、DSLINKというバス型LANと10 Mbpsで、また上述のループ型LANやマルチメディア多重装置と2 Mbpsのデジタル信号で接続が可能である。更にPBX（図中のFETEX）とは8 Mbpsで、Mシリーズのホスト・コンピュータとは6.3 Mbpsで、動画像とは45 Mbpsで接続することができる。その他XAにより48 Kbps以下の低速データもサポート出来る。

4. ネットワークの新しい使い方

情報メディアの多様化、伝送メディアの多様化、ネットワーク構成の複雑化、端末機器の多様化、サービスの高度化などネットワークそのもの自体に非常に高度な性能、機能が求められる様になってきた。以下にその実施例をあげる。

4.1 LANと結合したマルチメディア・ネットワーク

I回線やJ回線を使ってトールダイヤルネットワークを構築していた多くの企業は、デジタル専用線が開放されて以来、音声、データ、イメージ（FAX）といったメディアを統合してマルチメディア・ネットワークとして再構築を目指している。弊社の企業情報通信ネットワーク（COINS）のユーザの約9割がこのようなネットワーク構成になっている。Fig. 6は新日本製鉄殿における情報通信ネットワーク（NS-INS）の構成図である。本社他主要製鉄所および営業所など21カ所にマルチメディア多重装置（DMIX）とデジタル電子交換機（FETEXシリーズ）を導入し基本的なネットワークを構成している。幹線となっている重要な回線については、△型構成となっている。新しいサービスとして384 Kbpsに帯域圧縮された画像を用いたテレビ会議システム、テキストメール、高速データ伝送などが提供されている。また、関連会社と企業グループネットワークを構成している。

晴海では DMIX や PBX 等ネットワークを構成する機器は勿論 CVCF 等から接点情報を集め、ネットワーク全体の監視および管理が行われている。

君津製鉄所では、Fig. 7 に示すごとく 205 Mbps の光 LAN とデジタル電子交換機 (FETEX 3700) とを接続し、構内のトールダイヤル網を構築している。またこの光 LAN は、DMIX と PBX 経由で接続され、全国のトールダイヤル網の一翼を担っている。

幹線 LAN を中心にしたネットワークの他の一例として日本原子力研究所殿におけるネットワークを Fig. 8 に示す。205 Mbps の光 LAN には構内の汎用端末と I/O (6.3 Mbps) を収容している。他の研究所とは DMIX を配置し、トールダイヤル網およびオンライン網が構築されている。センターには DMIX, PBX, LAN それぞれの NSP を統合した COMS (ネットワーク監視システム) によりネットワーク全体を一元監視、管理が出来るようになっている。

Fig. 9 は、明治大学殿におけるマルチメディア・ネットワーク構成である。410 Mbps 光 LAN に接続された PBX と RU (リモート・ユニット) とで学内のトールダイヤル網を、更に DSLINK (バス型 LAN) を複数接続したデータ網を構成している。

4.2 国際情報通信ネットワーク

国際情報通信ネットワークは、1986 年に KDD から高速デジタル回線 (ハイビット・リンク) が開放されるまでは音声帯域のアナログ専用線を利用してきた。インタポレーション機能をつけたり音声をパケット化したりして回線の有効利用を行なっている。ところが最近では国内のネットワークと同様に高速デジタル回線を利用して国内外のネットワークを統一化する傾向にある。Fig. 10 はその一例である。音声は 8 Kbps に圧縮されている FAX メールや G N FAX の導入による国内外統合した新しいサービスを提供している。また東京、ニューヨーク、ロンドンを△型に結び、回線障害時の自動迂回によりネットワークの高信頼化を図っている。

5. 結論

最近の特に企業、学校や研究機関における情報通信ネットワークの実施例を紹介しながらそれに主として使用されている通信システムの現状と動向についての紹介を行った。ネットワークは、第二次通信回線開放と電気通信事業法により本格的なネットワークを構成することが出来るようになった。しかしそれを構成する機器の相互接続のインタフェースなどの標準化が今後重要な課題になってくる。また ISDN を始めとしていろいろなネットワークが出現しそれに付随した新しいサービスが展開されてくると思われるが、それらがいかに“ハイタッチ”であるかが世の中に受け入れられる鍵となるであろう。

参考文献

- 1) K. YADA, T. OCHIAI, M. HONDA : "JARECT" OHM, NORTH-HOLLAND, Vol. 5, 250 (1983)

Table 1 Classification of Network

No.	ITEM	CONTENTS
1	USER	<u>PUBLIC NETWORK</u> , <u>PRIVATE NETWORK</u>
2	TRANSMISSION MEDIA	<u>WIRE-CARRIED TRANSMISSION</u> , <u>TERRESTRIAL RADIO TRANSMISSION</u> , <u>SATELLITE TRANSMISSION</u>
3	STATION MOBILITY	<u>FIXED STATION NETWORK</u> , <u>MOBILE STATION NETWORK</u>
4	AREA	<u>GLOBAL NETWORK</u> , <u>MAN: METROPOLITAN AREA NETWORK</u> , <u>LAN: LOCAL AREA NETWORK</u>
5	INFORMATION MEDIA	<u>VOICE</u> , <u>DATA</u> , <u>VIDEO</u> , <u>IMAGE</u>
6	NETWORK TOPOLOGY	<u>HIERARCHY</u> (<u>STAR CONFIGURATION</u> , <u>RING CONFIGURATION</u> , <u>BUS CONFIGURATION</u>) <u>STAR CONFIGURATION</u> , <u>LOOP CONFIGURATION</u> , <u>BUS CONFIGURATION</u> <u>POINT-TO-POINT CONNECTION</u> , <u>CASCADE CONNECTION</u> , <u>MESH CONNECTION</u>
7	TRANSMISSION METHOD	<u>ANALOG NETWORK</u> , <u>DIGITAL NETWORK</u>
8	SWITCHING METHOD	<u>CIRCUIT SWITCHING</u> , <u>PACKET SWITCHING</u> , <u>MESSAGE SWITCHING</u>
9	TYPE OF COMMUNICATION BUSINESS	CLASS 1 (COMMON CARRIER): NTT, NCC AND SO ON 26 MEMBERS
		CLASS 2 (VALUE ADDED CARRIER) * SPECIAL CLASS 2 (16 MEMBERS REGISTERED) * GENERAL CLASS 2 (438 MEMBERS NOTIFIED) *

Note : * As of October 1987

Table 2 Relation Between Topology, Medium and Access Control Method

	TOPOLOGY		
	Bus	Ring	Star
MEDIUM			
Twisted pair cable	—	○	◎
Coaxial cable	◎	○	—
Optical fiber cable	○	◎	—
ACCESS CONTROL METHOD			
CSMA/CD	◎	—	○
Token passing	○	◎	—
TDMA	—	◎	○
FDMA	○	○*	—
Slotted ring	—	◎	—

Note : * Optical wavelength division multiplexing

Table 3 Standardization Trend of LAN and Development Trend of Optical LAN

STANDARD	IEEE802.3	IEEE802.4	IEEE802.5	IEEE802.8B		ANSI(X3S5) (FDDI-I/II) *
ITEM	ISO8802/3	ISO8802/4	ISO8802/5			
Topology	Bus	Bus	Ring	Star, Bus	Ring	Ring
Access control method	CSMA/CD	Token bus	Token ring	CSMA/CD	TDMA	Slotted ring
Medium	Coaxial cable Lightweight coaxial cable Twisted pair cable	Coaxial cable	Twisted pair cable	Optical fiber cable	Optical fiber cable	Optical fiber cable
Transmission speed (Mbps)	10 (10BASE5) (10BASE2) (10BASE5) *	1/5/10 Broad band(BB) /Carrier band(CB)	1/4/16 *	10 (10BASE5)	4/8/16/32	100
Trend of Japan	10BASE5 Under considera- tion	1/5/10(CB)	Under considera- tion	This topic which was divided to the following three parts by the request of the Kogin(the Agency of Industri- al Science and Technology), has been discussed by the Hikari Sangyo Gijutsu Shinko Kyokai(the Optical Technology Association) since 1985. TDMA method Token passing method CSMA/CD method		205/410
Example of product	DSLINK(FUJITSU) ETHERNET (FUJI XEROX) NET/ONE (LINGERMANN-BASS)	HAP/ONE (LINGERMANN-BASS)	TOKEN-RING NETWORK (IBM)	PC-LAN (FUJITSU): F9450 system LAN Optical ETHERNET (FUJI XEROX) EINS200(MIT)	F2881(FUJITSU) F2883(FUJITSU) LOOP6525(NEC)	F2893 (FUJITSU) F2895 (FUJITSU)

Note: * while at examination by ISO, also

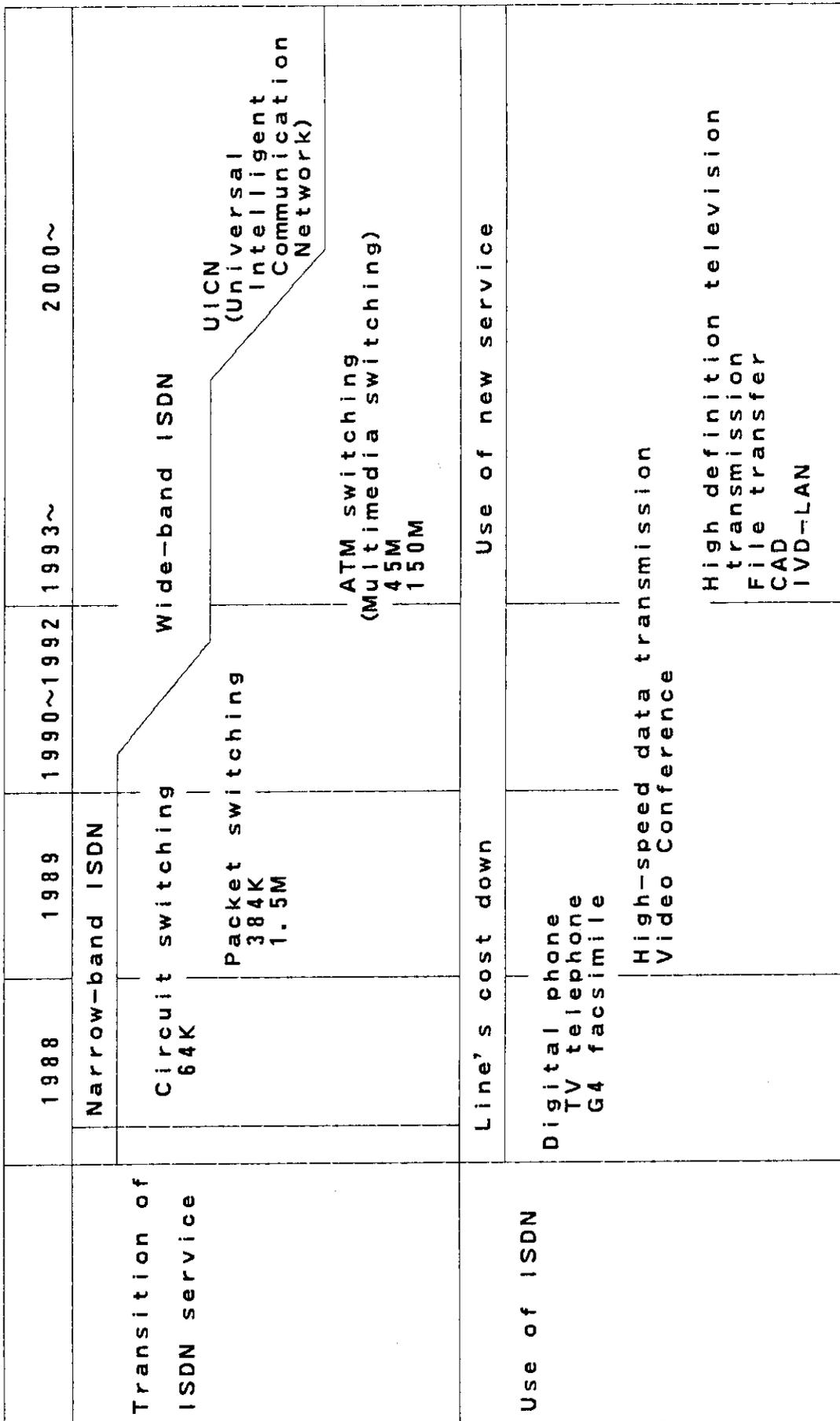


Fig. 1 Transition of ISDN and USE

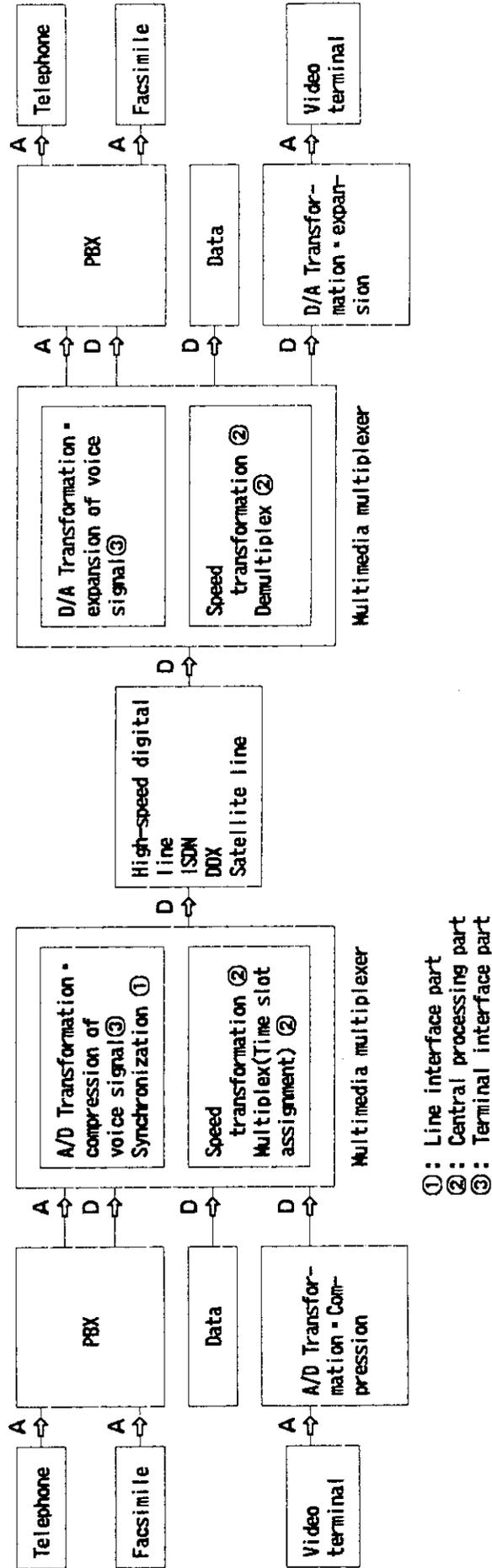


Fig. 2 Example of Multimedia Multiplexer Construction

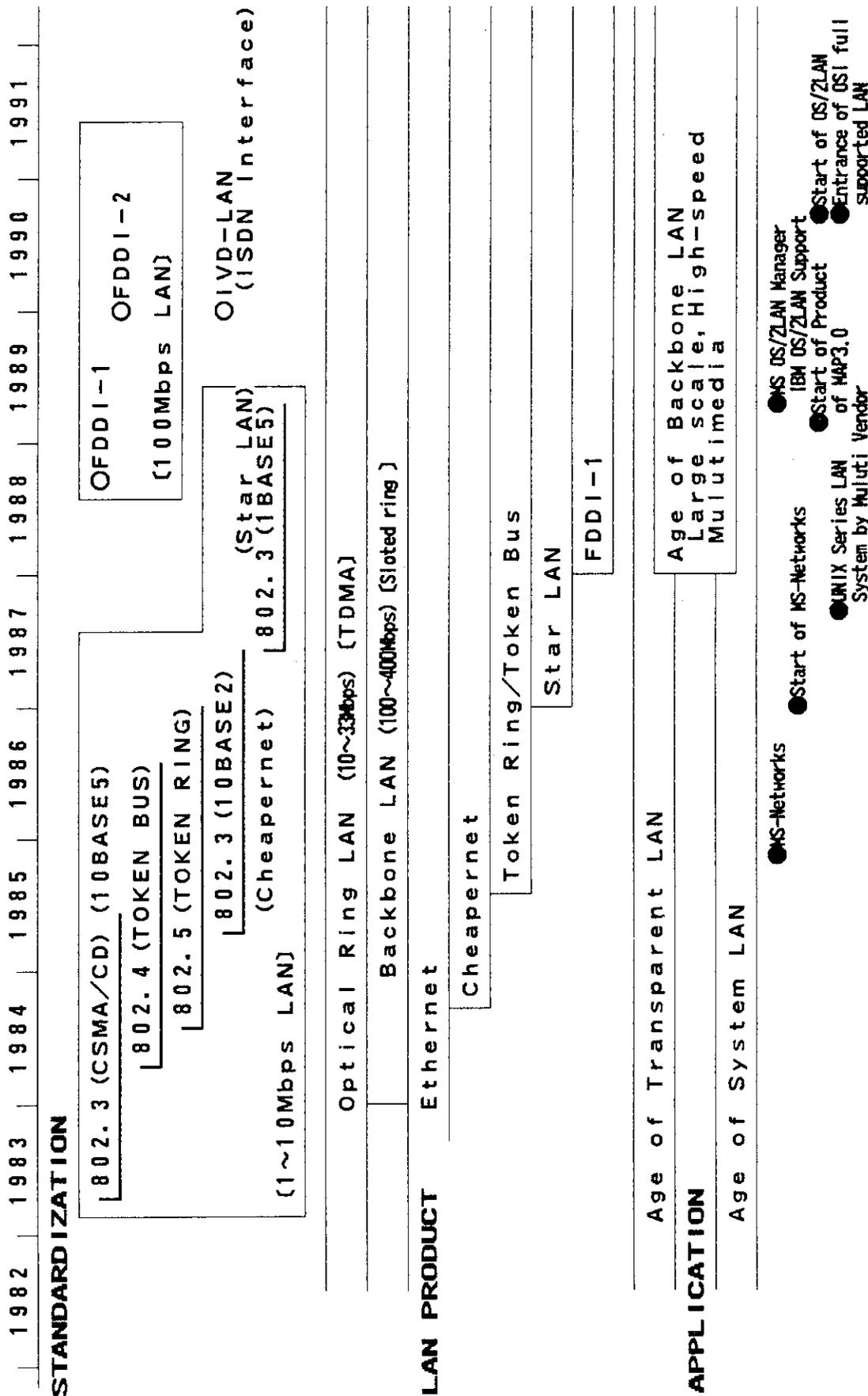


Fig. 3 Trend of LAN Development

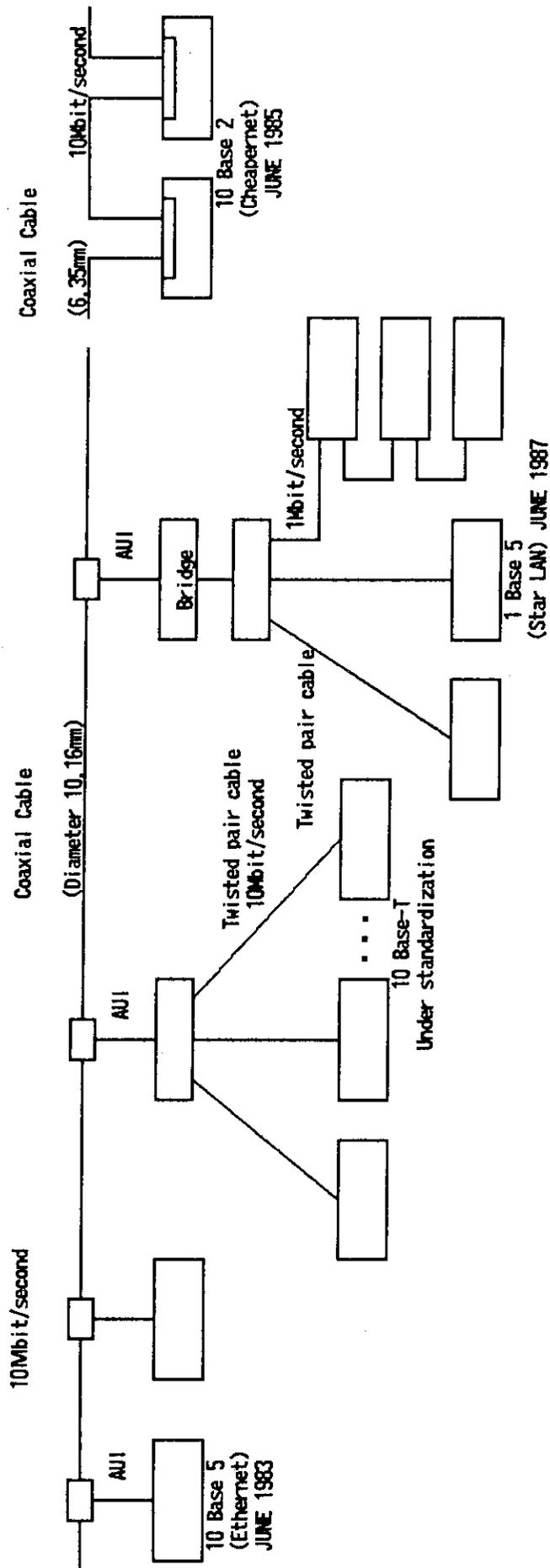


Fig. 4 Variety of BUS LAN

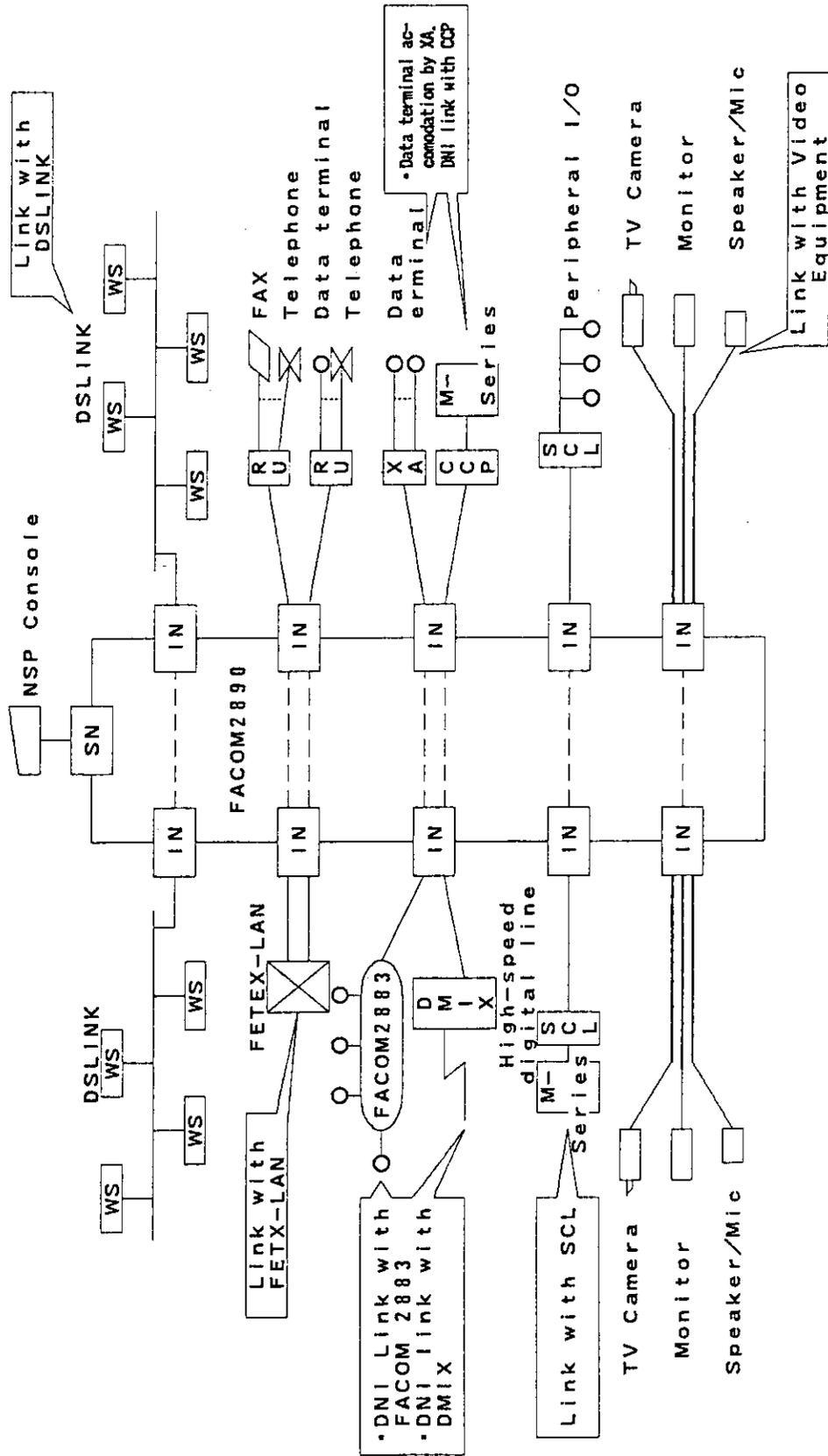
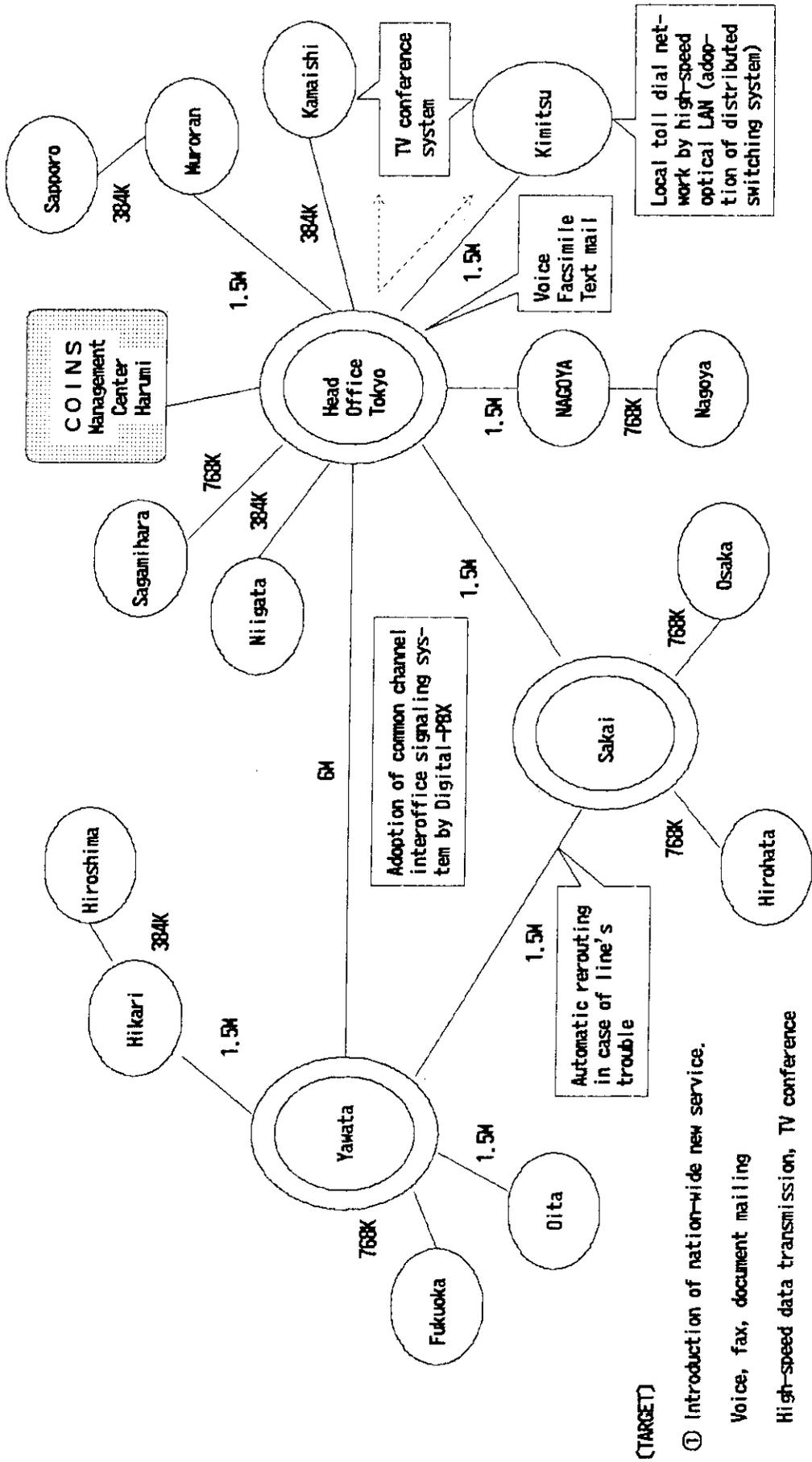


Fig. 5 FACOM 2890 Series System Schematic Configuration

(NIPPON STEEL, STARTED SERVICES IN MAY, 1987)



(TARGET)

- ① Introduction of nation-wide new service.
Voice, fax, document mailing
High-speed data transmission, TV conference
- ② Development of network as a major business.

Fig. 6 Application to Nation-wide Intra-company Network

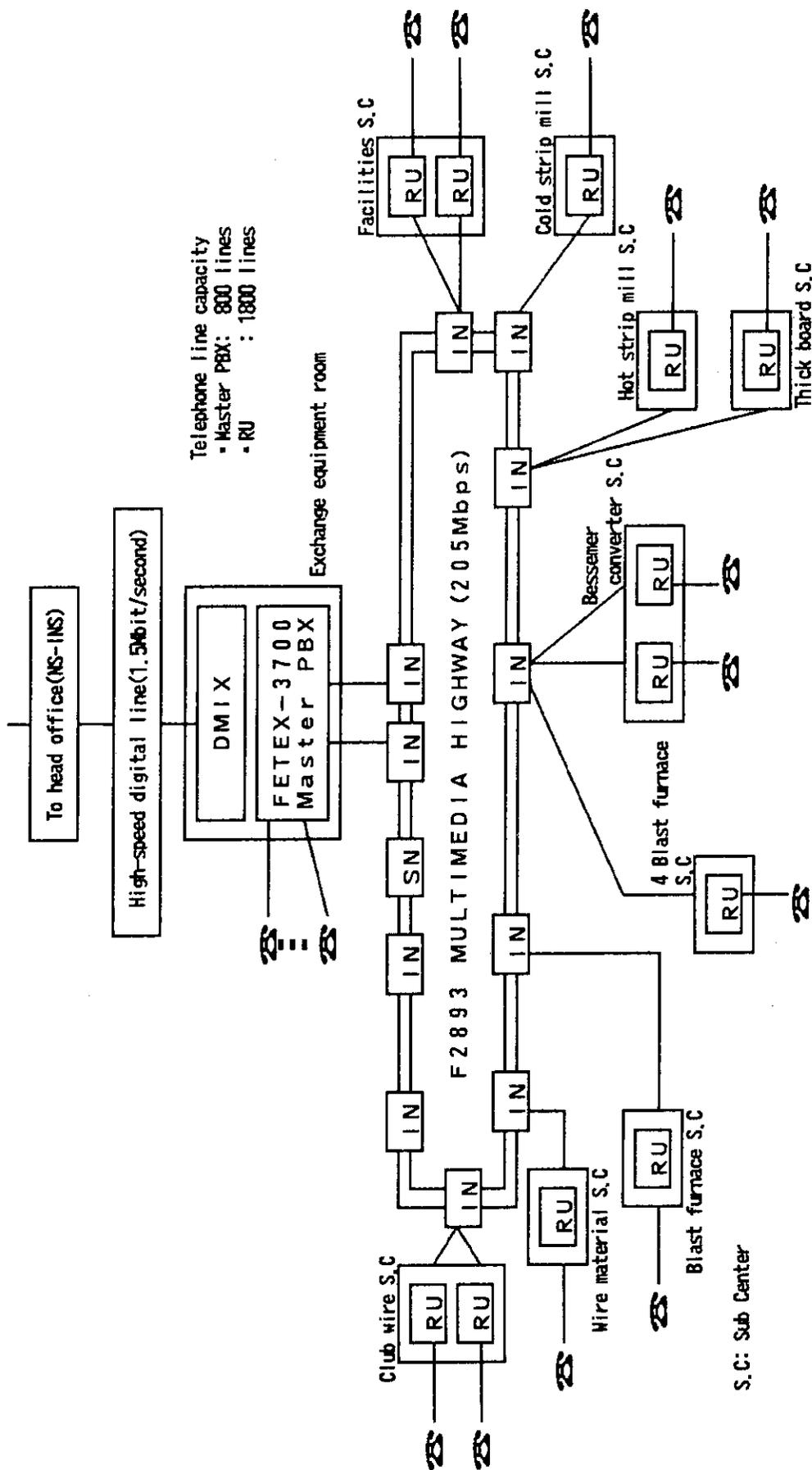


Fig. 7 Nippon Steel Kimitsu Iron Foundry Toll Dial Network Adopted High-speed Optical LAN

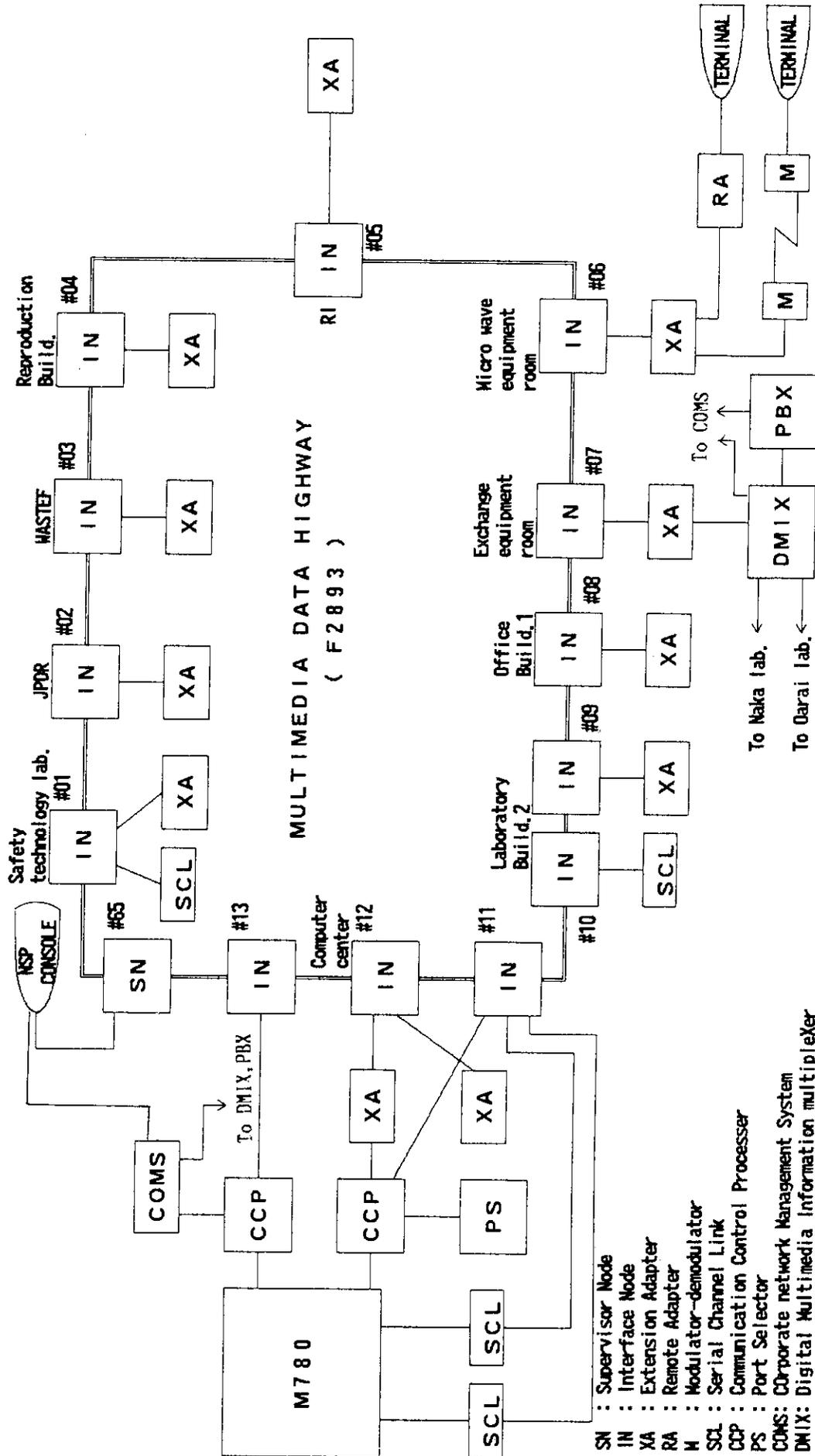


Fig. 8 Japan Atomic Energy Research Institute Local Area Information Network Adopted High-speed Optical LAN

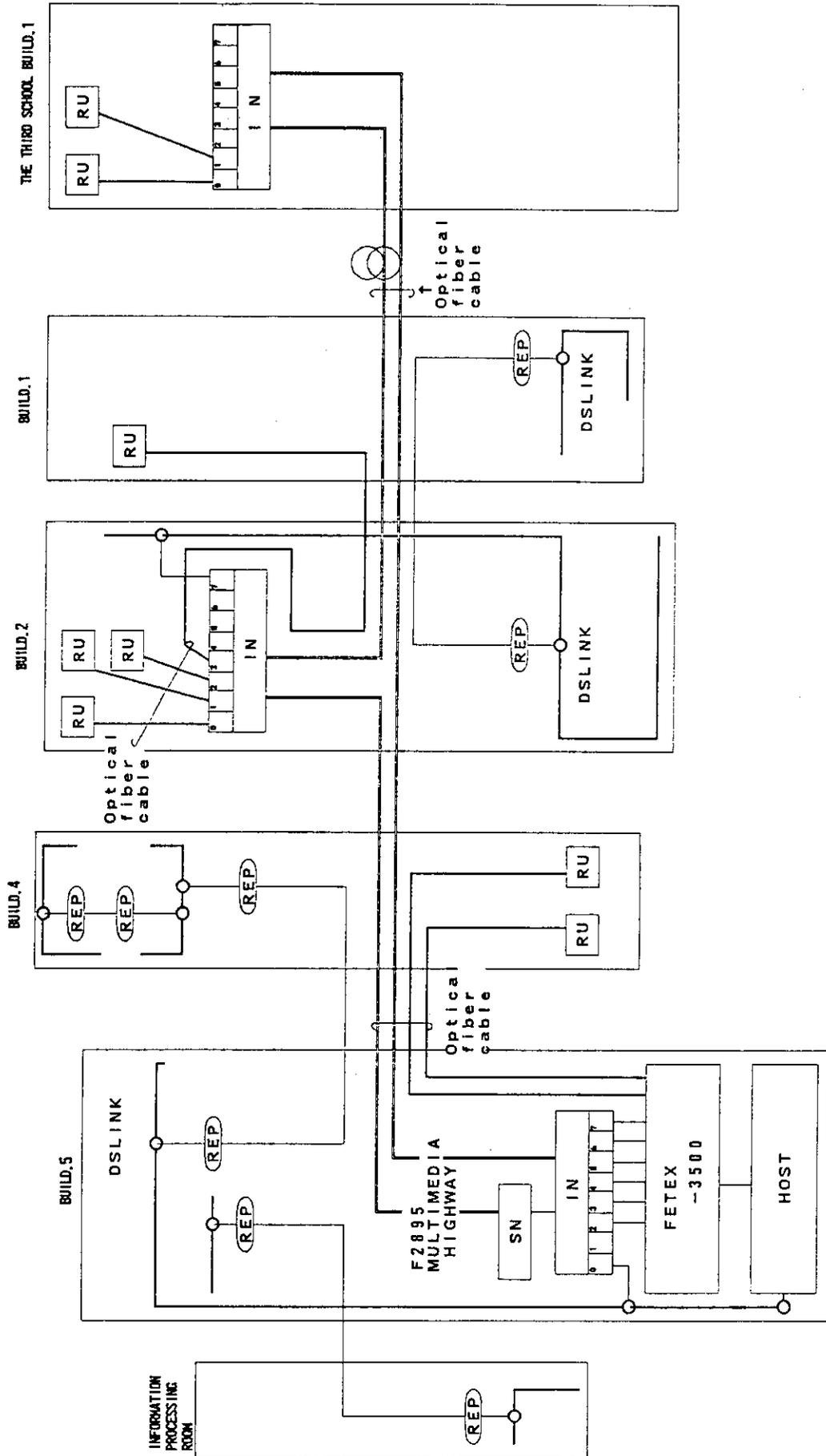
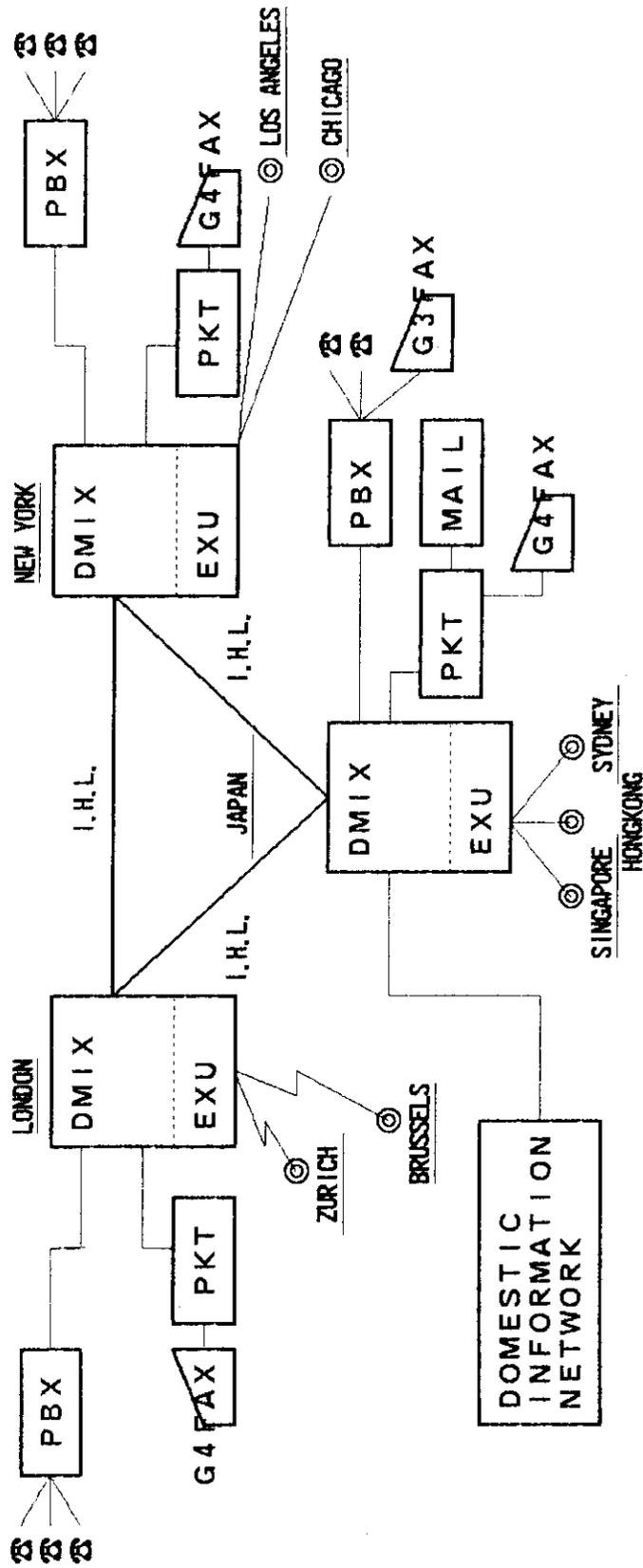


Fig. 9 Meiji University Local Area Multimedia Network Adopted 410Mbps Optical LAN



FAX : Facsimile
 I.H.L. : International High-speed digital Line

Fig. 10 "A" Bank Integrated Domestic and International Information Network

2.2 異機種間のネットワーク

宮澤正幸 (NTT (株))

通信機能を有した高速、高性能なワークステーション (WS), パーソナルコンピュータ (PC) 等が普及し, ホストコンピュータとの通信はもとより, これら WS, PC 等が直接情報交換する分散型ネットワークの形態が一般化しつつある。

この分散型ネットワークの構築では, ファイル, データベース等の大量の情報交換からメール, コマンド等の比較的小量の情報交換までの多様なトラフィックに対応できること, 異なるアーキテクチャで設計されている WS, PC 等 (異機種) の相互通信機能を備えること等が重要となる。

現在 FA, OA 分野を中心に OSI プロトコルをサポートしたローカルエリアネットワーク (LAN) がこれに応えるネットワークとして注目されている。

このネットワークでは, 異機種間が共通の OSI プロトコルをサポートすることを前提とするが, 既に普及済みの非 OSI プロトコルを有した機能に対する通信についても考慮されているものが多い。

ここでは, 異機種間のネットワークとして, OA 分野の LAN をとり上げ, そのアーキテクチャと実現例について紹介すると共に今後の展開に関する課題等について紹介する。

Telecommunication Networks involving Heterogeneous Systems

MASAYUKI MIYAZAWA (NTT Corp.)

The diffusion of sophisticated equipment such as workstations (WS's), personal computers (PC's) having high speed capabilities leading to distributed communication networks, in which these WS's and PC's can communicate with not only the host computer, but also independently, is on the rise throughout the world.

In the construction of a distributed communication network, it is important to be able to cope with the various types of traffic such as files, database, mails, command data, and to provide the proper communication features to be used between WS's, PC's and other equipment having a dissimilar architecture.

Today, local area networks (LAN's) which support OSI protocol, provide the greatest benefit for the OA and FA fields because the network is capable of the above mentioned requests. In this network, the assumption is that the different types of equipment support the common OSI protocol. However, many networks exist, providing communication features between equipment with non-OSI protocol and equipment with OSI protocol.

In determining the best result for telecommunication networks involving heterogeneous systems, I have selected LAN for the OA field because of its suitability for use with different types of sophisticated equipment. I would like to address LAN architecture, real network examples, as well as problems to be solved in its continued development in the future.

keywords (OA, WS, PC, LAN, LAN architecture, OSI protocol, non-OSI protocol)

1. はじめに

通信機能を有した高速・高機能なワークステーション (WS), パーソナルコンピュータ(PC) 等が普及し, ホストコンピュータとの通信はもとよりこれら WS, PC 等が直接情報交換する分散型ネットワーク (NW) の形態が一般化しつつある。

この分散型ネットワークの構築では①ファイル, データベース (DB) 等の大量の情報交換から, メール, コマンド等の比較的小量の情報交換までの高度な利用形態と多様なトラフィックに対応できること, ②異なるアーキテクチャで設計されている (異機種) WS, PC 等の相互通信機能を備えること等が要求される。

現在, 前者①の要求に応える為に, 端末, 処理系 (WS, PC 等を含む) からのコンピュータ/ネットワーク利用技術 (OS等を含む) の高度化研究が進められる一方, 通信系から通信ネットワークの高度化 (WAN, MAN, LAN 等) に係る研究が進められている。

後者②の要求に対しては, 夫々のユーザシステム対応に既に布設された異なる通信方式を有する装置間を接続する為の通信方式変換装置を設置する方策をとるか, あるいは, 異なる通信方式を有した装置相互に共通な通信方式を搭載させて通信させる方策をとることにより対処するのが一般的であり, この共通な通信方式として OSI プロトコルを適用する気運が高まりつつある。

本稿では上記背景のうち, OSIプロトコル検討への取組みの経緯とFA, OA分野で精力的に検討されているOSIプロトコルをサポートしたLANを視点として異機種間のネットワークについて紹介する。この紹介を通じて, 異機種間ネットワークの展開について考察する。

2. 標準化の経緯

2.1 ネットワークアーキテクチャ

(1) その出現

ネットワークアーキテクチャとは, コンピュータ, 回線網, 端末装置から構成されるネットワークの各構成要素間の接続条件及びこれらの要素相互間で通信を行う際の約束 (プロトコル) を定めたものである。

コンピュータファミリにおいて, 命令セットを標準化し, 各種プログラムの一元的開発, 新技術の開発, 導入の容易化等を可能にしたと同様, ネットワークにおいてプロトコルを標準化することにより, 各種ネットワークの応用プログラムの一元的開発, 新技術の開発・導入の容易化等を図ることができる (図1)。

1974年のIBM社のSNA発表 (基本概念) を皮切りに, 内外のコンピュータ/通信機器メーカーが, 自社製品向きネットワークアーキテクチャを発表し, 各社製品の通信戦略を明らかにした。しかし, これにより他社製品との接続を保証しようとするものではなかった。

(2) 共通化

1977年4月, 電電公社は, 日本電気, 日立製作所, 富士通, 沖電気工業4社とDCNAの共同研究を開始した。この研究は, その後のデータ通信サービスの利用形態が, システム個々に利

用する形態から、コンピュータ相互間を結合するなど、コンピュータ、端末、及びこれらを結ぶ回線網をより高度に融合した利用形態へ発展するものと考え、DCNAを実用化、その汎用化を図ることを目的としたものである(表1)。

研究の成果は、各方面での異機種コンピュータ間接続に適用される一方、次に述べるOSI検討の場に反映されている。

(3) OSI 参照モデル

ISO/TC 97は1978年に第1回SC 16会議を開催し、各社各様のネットワークアーキテクチャを一本化する為のOSI (Open Systems Interconnection: 開放形システム間接続) 検討を開始した。先ず、7レイヤからなるOSI参照モデルを設定し(図2, 3)、プロトコル規定の為の基本的枠組みについて明らかにした。

この参照モデルは、各社のアーキテクチャを比較したり、各レイヤ対応のプロトコル整合性について議論に供することができること、並びに新たなプロトコルの設計を他のレイヤから独立して行い追加することができること等の利点があることから、その後広く通信分野の基盤として適用されるに至っている。

2.2 標準プロトコル

(1) 公衆データ網(パケット交換網)用プロトコル

ISO/TC 97/SC 16の発足に先立つ1976年9月に、CCITTは公衆パケット交換網の基本となるコネクションオリエンテッドなネットワークアクセスプロトコル(X.25)を勧告した。この勧告のプロトコルは、パケット交換網、コンピュータ、端末装置の機能分担を考慮して①電気物理的インタフェース、②リンクアクセスプロトコル及び③パケットレベルプロトコルの夫々に独立した3つのレベルに分けて規定されている。このうち②のプロトコルは、ISO/TC 97/SC 6のHDLC手順が適用されている。

これら3つのレベルが、OSI参照モデル設定で考慮されたことはいうまでもない。

(2) LAN用プロトコル

1980年2月にIEEEは802委員会を発足させLANプロトコルの標準化に着手した。当時のIEEE 802委員会の議長(Maris Graube氏)は、LANの標準化について"LANの標準化は国際的にはISO, IEC, 国内的にはANSI, EIAの担務であるが、このような場では標準化に数年を費やしてしまう。LAN分野は高々物理、リンクレイヤの範囲に過ぎないのだから、製品的には直ちに標準化の対象となる。今標準化に着手しなければ数年後には機能・性能が異なるチップが市場に溢れて標準化は意味のないものになってしまう。だからIEEEが今取組むのである"と述べている。

当初は、DIX Ether V-1の良認を検討したが現在では更に広範な応用分野をカバーする為に、多数のプロトコルが検討対象となっている。

LAN用プロトコルの検討は、その後ISO/TC 97/SC 6でも検討されるようになり、IEEEの検討結果の一部が、ANSIを通じてISOの場に提案されている。これらは基本的にはそのまま国際標準として認められている(表2)。

LAN用プロトコルでは、伝送路の高信頼性を前提としてネットワークレイヤにコネクション

レスのプロトコル (INP) を採用している点で公衆データ網用プロトコルと相違している。

(3) 高位プロトコル

高位レイヤのプロトコルは、最上位を除き ISO と CCITT (SG VII) の両者に共通のプロトコルとして整備されている。

トランスポートレイヤにはコネクションレスプロトコルとしてクラス 0, 1, 2, 3 の 4 種を、コネクションオリエンテッドプロトコルとしてクラス 4 を用意している。これらの使用方法としては、ネットワークレイヤ以下がコネクションオリエンテッドなプロトコル (例えば X.25) を適用した場合にはクラス 0 ~ 3 のいずれかを、また、ネットワークレイヤ以下にコネクションレスのプロトコル (例えば INP) を適用した場合にはクラス 4 を使用することを期待している。

また、プレゼンテーションレイヤでは ASN と呼ばれる形式記述方式が規定されている。この ASN により、電子メール、文書ファイル等を扱う最上位のプロトコルを共通的な形式で扱うことが可能となる。

最上位のプロトコルは、問題向きであることから ISO がファイル転送を行うための FTAM, 端末の画面制御等を行う VT 等のプロトコルを CCITT が電子メールの為の MHS 等のプロトコルを検討/規定している。

2.3 その他のプロトコル

(1) テレマティック端末プロトコル

OSI プロトコル検討以前から CCITT (SG VIII) では、ファクシミリ、テレテックス、ビデオテックス等のテレマティック端末プロトコルを検討していた。これらは当然 OSI プロトコルではない。しかしながら、その後、ミクストモードテレテックス、G4 ファクシミリ等の標準化の検討が進展する中で OSI との関係等が議論され OSI 化の方向で整理されてきている。

(2) ディファクトスタンダード

OSI プロトコルの検討と並行して、市場面では前記 (章 2.1.1(1)) 各社ネットワークアーキテクチャに基づく製品が出荷されてきた。この中で、特に TCP/IP の普及が目ざましく、現在 OSI プロトコルと並ぶディファクトスタンダードとしての位置を占めている。この TCP/IP を適用した最も代表的なネットワークとしては DOD の ARPA (現在は DARPA) internet がある (図 4)。しかしながら、DOD は 1987 年秋に NATO とのインタオペラビリティを重視してこれを OSI 化することを表明した。その具体的な計画として、当面はゲートウェイ方式による移行を考えている⁽¹⁾。

3. OSI 化への取組み

3.1 機能標準 (FS: Functional Standard)

(1) GM 社の例

GM 社⁽²⁾には約 4 万台のプログラマブル装置が設置されているが、これらの 15% しか相互通信ができないという。コンピュータシステムに相互接続性がないことが、将来のプラントの自動化にとって最大で唯一の障害であるとの従業員の指摘を受け、状況の見直を行った。そして、設

計から製造までのプロセスを電子的に統合する為に次の3つの方法があることを結論づけた。

- ① 多様のベンダから単体装置を購入し続け、必要なカスタム化をする。
- ② 総ての装置を同一ベンダから購入する。
- ③ プラントフロアの通信を指向した統一された通信方式を展開する。

①は、自動化装置の急激な増大（1990年までに20万台とする計画）、通信ニーズの拡大にはコスト的に適当でない、②についてはプラントフロアで必要な総てのタイプを提供するメーカーがなく不可能であると判断し、③を現実的な解として採用した。1980年に7部門の代表者からなるタスクフォースを結成し、OSI適用の検討を開始しネットワークにトークンバス方式のLANを適用した上でOSIプロトコルの中からGM社ネットワークに必要なプロトコルを切り出して体系化したMAP（Manufacturing Automation Protocol）仕様を作成してきた（図5）。このようにOSIプロトコル群の中から特定応用分野に必要なプロトコルを選択して（サブセット化）作られた仕様を機能標準（FS）、あるいは実装仕様とよぶ。1984年には、MAP製品によるシステム構築をベンダに確信させると共に、通信プロトコルのテスト環境を提供する為に、36社から成るMAPユーザグループを結成した。その後、ユーザグループは拡大し、加国、欧州、豪州、日本にも夫々組織されるに至っている。本年6月のENE'88で最終バージョン（V-3.0）の製品デモンストレーションを成功裏に終了させた。

また、同時期にボーイング社が推進していたTOP（Technical and Office Protocol）仕様の検討と連繋し、両者に共通な部分を全く同一化した仕様を作成した。現在ではMAPがFA用、TOPがOA用のFSとして認知されるに至っている。MAPとTOPの仕様の主要相違点は伝送路として、TOPではCSMA/CDを選択していること、及び最上位のプロトコルとして、MAPがFTAMとMMSを、TOPがFTAMとMHSを基本としていることにある。

(2) OSI化の推進

OSIによるマルチベンダネットワークの異機種間接続を促進する為に、FSの作成が有効である。その具体的推進の為に国レベルの精力的な検討が行われている。主要な推進母体として、欧州のCEN/CENLEC/CEPT及びSPAG（Standard Promotion and Application Group）、米国のNBS及びCOS（Corporation for Open Systems）がある。

日本では1985年設立されたINTAP、及びPOSI（Promotion Conference for OSI）がFS作成の中心となって活動している。

また、1985年に設立された電信電話技術委員会（TTC）が、電気通信標準策定機関として、国際ロボットFA技術センタ（IROFA）のMAP委員会が、日本MAPユーザグループとしてOSI化推進の為に活発な活動を実施している。

(3) ISP（International Standardized Profile）

POSI（日）、COS（米）、及びSPAG（欧）などの国際的なOSI推進組織が連携して、夫々が作成したFSをハーモナイズさせる為の検討が進められている。

この検討は、ISO/IEC JTC1で扱われ、ISPとして取りまとめられることになっている。現在、この為の活動（インタナショナルワークショップの開催等）が開始され、軌道に乗りつつある。

3.2 OSI 化の事例

(1) PC 通信への適用

PC が企業等における OA の中核機器として、あるいは家庭用ホビー機器として普及し始めた当時は、その利用形態の殆んどがスタンドアロンであった。通信用機器としての利用もあったが、コンピュータの I/O 端末としての利用が一般であった。このような状況を脱却し、PC をネットワークの主要機器として効率よく結合する為に、郵政省は 1984 年 1 月から PC 通信に関する調査研究会を発足させた。本検討では、既に普及済みの PC に OSI プロトコルを実装させるために、アダプタの適用が有効であることを実証すると共に、より簡便なプロトコルを選択した PC 用プロトコルと、これを搭載したアダプタ制御用のインタフェース仕様 (CFU) を規定した (図 6)。

この仕様は、同年 JUST-PC として告示され、その基本仕様が 1985 年の CCITT (SG VII) 会議に提案された。CCITT では、この課題を CCT (Computerized communication Terminals) として議論してきたが、この結果は近く T. 65 として勧告されることになっている。また、この仕様をサポートした各種のアダプタが販売されている他、本通信プロトコルをサポートした PC 等に対して、後述する MHS プロトコルによる電子メールサービスを提供するネットワークが商用化されている。

(2) 電子メールへの適用

従来特定のシステム又は、マニアの間の限られた範囲で利用されていた電子メールにワードプロセッサ等の文書処理技術が加わり、OA 分野での電子メールの重要性が高まっている。

主要な電子メールサポートのコンピュータネットワークとしては、前述の ARPA Internet や CSNET (TCP/IP), Xerox Internet (XNS), UUCP (AT & T' SUUCP), JUNET (AT & T' s UUCP) 等がある。これらはいずれも非 OSI プロトコルである。

しかしながら、現在では、OSI プロトコルである MHS を適用した電子メールを実現しようとする動きが活発化している。

既に、欧州の EAN network をはじめ、日本の NTT-PC で具体的なサービスを提供している他、殆んど電子メールサーバーの提供メーカーにおいてもこの MHS のサポート製品を用意している。

これらの製品は、既存の各社固有の電子メールとの相互接続を可能とする為の変換プログラムの形をとったり、独立なゲートウェイ装置として製品化されている (図 7)。

4. マルチベンダネットワーク

4.1 ネットワーク技術の高度化

4.1.1 分野別ネットワークの展開

最近のネットワークの開発・研究状況を分野別に整理すると次のようになる (図 8)。

(1) 公衆網分野のネットワーク

(i) WAN (Wide Area Network)

高速デジタル専用線のサービス開始に引続き、ISDN サービス (2B + D, 23 + D) が

提供され、音声、データ、画像等を含む（マルチメディア）多様な通信が可能となっている。特に、準動画TV電話等の新サービスへの期待と、G4ファクシミリ通信やコンピュータ間、PBX間通信等で要求される高速通信への適用が期待されている。

また、昨年からCCITTの場でもより高速・広帯域の通信方式（B-ISDN）としてATMの検討が開始されている。

(ii) MAN (Metropolitan Area Network)

IEEE 802委員会では、通信の適用分野を特定地域に限定した（約50km圏内）ネットワークで、LAN等を収容するネットワークをMANと呼び、この通信方式としてDQDBを検討している。

MANを市場面から捉えれば前述のATM、後述のFDDI等を適用することが考えられるが、このDQDBの標準化、実用化が急速に進んでいることから、今後のネットワークを考える上で十分な考察が必要である。

(2) LAN (Local Area Network)

(i) 中速LAN（～10数Mb/s）

章2.2(2)及び、章3.1(1)で述べたように、LANについては、既にFA用（トークンバス）、OA用（CSMA/CD）と分野別に普及定着しつつある。現在は、これらの伝送媒体を光ファイバーケーブル化しようとする検討が進められている。

光ファイバーを介した通信は、電磁誘導の影響を受けない等による高信頼性/安全性等に特徴がある。光トークンバスについてはIEEE 802.4及びMAPユーザグループにおいてまた、光CSMA/CDについては、IEEE 802.3（FOSTAR-SG）において精力的に検討されている（表3）。

(ii) 高速LAN（～100 Mb/s）

ANSIがコンピュータ間通信用光バスとして検討してきたFDDI（100 Mb/s）を高速なLANとして適用する方向が一般化しつつある。

FDDIは光トークリング形ネットワークを形成し、パケット通信のみのインタフェースを提供するFDDI-Iと、パケット、回線（アイソクロナス）の両通信インタフェースを提供するFDDI-IIがある。前者は既にANSIよりJTC1 SC13に提案され国際的な標準化も固まりつつあり、そのサポート製品も出荷されている。後者は、現在ANSIで検討中の段階にあり、この1～2年のうちに仕様固めが進められるものと考えられる。

その他、400 Mb/s以上の通信速度をサポートしたLAN製品が販売されている。技術的にはギガオーダの超高速通信の実現域まできているが、標準化の場で議論されているものはない。

4.1.2 ネットワークの相互接続

(1) インタワーキング装置

WAN、MAN、及びLAN分野で多様な通信方式のネットワークが標準化され、そのサポート製品が市場に普及しつつあることから、当然これらのネットワーク相互を接続する要求が生ずる。

この相互接続点の装置を概念的に整理すると次のようになる（図9）。

(i) リピータ

同種のLAN間を物理レイヤの中継で接続する装置

(ii) ブリッジ

同種又は異種のLAN間をMAC サブレイヤまでの機能で中継する装置

(MAC アドレス中継)

(iii) ルータ (ラウタ)

同種又は異種のネットワークをネットワークレイヤまでの機能で中継する装置

(ネットワークアドレス中継)

(iv) ゲートウェイ

トランスポートレイヤ以上のプロトコルを装備した端末/コンピュータをも含めたネットワークシステムを接続する場合で相互が異なるプロトコル体系を有している場合、これらのプロトコルの不整合部分を変換する装置

(2) インタワーキングの標準化

現在、LAN間、LAN-WAN 接続の為のインタワーキング仕様が標準化の場で議論されている（図10）。

同種のLANを接続するリピータ、LAN間を接続するブリッジの他、IEEE 802.9においてIVD(Integrated Voice and Data)-LANの検討に向けたIVD 端末/ネットワーク収容の為の新たな接続装置(AU: Access Unit)等が検討されている。

4.2 ネットワーク構成

(1) ネットワークの共用

オフィスや、研究室等でWS、PC等の利用とLAN 導入が一般化し、同一空間に用途別の多様なネットワークが形成されているケースがある。これらマルチベンダのWS、PC等を統一的なネットワークで接続し体系化することを目指して、安価で高速通信が可能な上に融通性の高いCSMA/CD方式のLAN(Ether-Net)を適用する事例が多い。

各ベンダ対応に開発された異なる通信プロトコルを有したWS、PCやオフィスコンピュータ等の殆どがこのLAN接続する為のアダプタ(TA、又はCA)等を用意している。

これらのアダプタを介して各種マルチベンダ製品が同一の通信路に接続されるが、通信範囲は同種プロトコル装置の製品間に限られるものが多い。

また、従来、公衆網に収容されていた通信端末をこのLANに収容する事例も多く、この為のアダプタと公衆網接続を行うゲートウェイ装置等が販売されている（図11）。

(2) 階層形ネットワーク

最近、業際や研究等に係わる新しい分野の情報処理化の為に複数分野にまたがるより広範な領域をカバーするネットワークやビルオートメーション等セキュリティ管理を含む新たな利用分野に対応するネットワーク等の構築が要求されている。

現在最も注目されているこの種のネットワークとして、ビル間、フロア間を結ぶ高速な幹線ネットワークを設置し、各フロア(オフィス、研究室)に布設されているLANをこの幹線ネッ

トワークに接続する階層形のネットワークがある（図12）。

具体的にこの階層形のネットワークの布設を検討中又は実施済の例として東京都行政情報ネットワーク⁽³⁾、宮城県総合行政情報システム⁽³⁾、東北大学総合情報ネットワーク⁽⁴⁾、等がある。

これらはいずれも、幹線ネットワークとして光ファイバを用いた100 Mb/sの通信速度をもつFDDIリングを採用している。支線ネットワークとして前者の二例は光CSMA/CDの採用を計画中であり、後者一例は同軸CSMA/CDを布設済みである。

5. 階層形ネットワークの事例

5.1 ネットワーク構成例（図13）

本章ではNTTで開発中/済みのネットワークを例として記述する⁽⁵⁾。

(1) 幹線ネットワーク

幹線ネットワークは、リングネットワークを構成するノード(AU)と光ファイバから成る。このノードは、幹線のFDDI制御を行う機能と、支線ネットワークや後述するネットワーク管理ステーション等を収容する為の機能等を有する。

前者の機能により、100 Mb/s通信を実現すると共に、伝送路障害時でのバイパス、ループバック制御や自己診断、遠隔診断等を行い信頼性を確保する。

後者の機能としては、支線ネットワークの収容機能としてCSMA/CD、等のアクセス機能に加え、異種ネットワーク接続の為のブリッジ機能あるいはルータ機能を有する。またネットワーク管理用のコンピュータ等を収容する為のSCSIインタフェース等を有する。

(2) 支線ネットワーク

支線ネットワークとして光CSMA/CD LANと、既に普及済みのLANを適用する。一般のWS、PC、コンピュータ等はこの支線ネットワークに直接収容される。LANインタフェースをもたない公衆網用端末や、スタンドアロンのPC等を収容する為に各種の端末アダプタを用意している。

このアダプタには、RS 232 C等の既存インタフェースでアクセスすることにより、既存端末をOSI 端末（又はTCP/IP 端末）として利用することも可能としている。

尚、光CSMA/CD方式の支線ネットワークは、33ポートのパシブスターカプラ(SC)と衝突検出機能と光電変換を行う光トランシーバ(Tr)から成る。更に支線ネットワーク規模を拡張させる為に光リピータ(RP)を用意している。

(3) ネットワーク管理ステーション(NS-M)

階層形のネットワークの構築では大規模化、高信頼性の確保が前提となる。このネットワークの円滑な運用の為にNS-Mを設置している。主な機能は次の通りである。

- 運転機能 (NWの運転開始, 終了, バイパス, ループバック指示等)
- 監視機能 (幹線ノード, GW等の障害, 輻輳監視等)
- 情報収集機能 (トラフィック情報, トレース情報等の収集)
- NW情報維持・管理/問い合わせ対応機能 (障害状況経歴等)
- 保守支援機能 (障害切分け試験等)

これらの運行を確実に実施する為に NS-M 自身が二重化構成を有したり、IC カード等により機密保護機能を充実させる等の施策をとっている。

(4) ゲートウェイ (GW)

幹線ネットワーク上に GW を設置し、LAN-WAN, LAN-WAN-LAN 接続を可能としている。主要な機能は OSI プロトコルを基本とした中継機能に加え、NS-M からの遠隔管理下での動作を可能としたり、WAN 側を流れるトラフィック情報、トレース情報等を収集し NS-M に報告する等の保守・運用上の高度化機能を有する。

5.2 通信パスとプロトコル例

(1) 幹線ネットワークノードの中継方式

二つの異なる支線ネットワークに収集された端末 A, B が幹線ネットワークを中継して通信する為の幹線ネットワークノードの中継方式としてブリッジ方式と、ルータ方式がある (図 14)。

ルータ方式は非 OSI (例 TCP/IP) 端末間の通信に適用する。これは、幹線ネットワークでサポートする OSI プロトコルと支線ネットワークの TCP/IP プロトコル機能がネットワークレイヤ以下で整合しないことに因る。(詳細は章 5.2 (3) で述べる。)

ルータ方式はブリッジ方式より処理オーバーヘッドが多い為、支線のフレームをそのまま FDDI のデータフィールドに挿入して中継する機能も用意しているが、この場合には、幹線ネットワークに直接収容された FDDI インタフェースを有したコンピュータ等との通信ができないことになる (図 15)。

(2) OSI プロトコルによる通信方式例

OSI プロトコルサポートの中継方式のうち、同一の階層形ネットワーク内での通信は、前記 (1) の中継方式により接続される。これらの端末の一方が他のネットワークに収容されている場合には、GW でこのネットワーク依存のプロトコルを変換する (図 16)。

(3) 非 OSI プロトコルの中継通信方式例

非 OSI サポートの階層形ネットワークの支線に収容された非 OSI サポート端末間の通信を実施する為に、OSI プロトコルでは、非 OSI プロトコルの識別機能を有した SNAP (Subnetwork Access Protocol) というプロトコルを用意している。例えば TCP/IP を OSI プロトコルで中継する為にルータは、LLC (タイプ 1) と、この SNAP を用いて IP プロトコルを転送・中継する (図 17)。

6. 異機種間ネットワークの課題

6.1 アドレス方式の体系化

(1) MAC アドレスの徹底

MAC アドレスは 48 ビットのフィールドで形成され、ユニバーサルアドレス形式とローカルアドレス形式の 2 つに分類されている (図 18)。

ユニバーサルアドレスは LAN 収容端末を世界で一意に識別することを目的としたもので、プロバイダコードとプロバイダ内で付与する装置通番から成る。このプロバイダコードは、ISO

の委託により IEEE が管理するもので LAN 収容装置製造メーカーが一定の手続きで申請することにより付与されることになっている。しかしながら、このコードをもたない端末等が、任意の番号を使用する場合があります、アドレス衝突等の問題が起っている。

ローカルアドレス形式は、階層形ネットワークのブリッジング等を効果的に実現する為に自己のネットワーク構成にフィットさせて、番号を付与しようとするものである。本方式は、ネットワーク運用を一元的に管理する組織的な取組みのもとで形成されるネットワークには有効であるが、それ以外のアドレス管理が徹底できないネットワークへの適用は危険である。

今後の円滑なネットワークの成長を期待する為には、ユニバーサルアドレスを整備した上でローカルアドレスを別メモリに設定可能な端末装置を導入することが必要である。

(2) MAC アドレスの記述と伝送方式

MAC アドレスの通信上での扱いが CSMA/CD、トークンバスとトークンリング (FDDI を含む) で異なり次の点に留意することが必要である。

メモリ上に記録されたビット列は一般に 8 ビット単位に最上位ビット (MSB)、最下位ビット (LSB) を定義して並べ、そのビット位置で意味を定義する。

MAC アドレスもこの方法によりメモリ上に記録されることになるが、これを伝送路上に送出する順序として、CSMA/CD、トークンバスでは LSB 側から、またトークンリングでは MSB 側から送出する様規定している。その上で両者の MAC アドレスは伝送路上のビット列の意味が一致するように扱うことを想定している。

このことは、メモリ上では両者ビット列の意味が LSB、MSB で反転していることを示している。

(3) ネットワークアドレスの付与方法

OSI プロトコル (INP) による LAN 内ネットワークアドレスの付与方法について INTAP の規定では、AFI (オーソリティ識別子) PSI (Primary Subnet ID), PIA (MAC アドレス), LSS (LSAP Suffix), NSS (NSAP Suffix), の階層形式を採用している (図 19)。

ここで階層形のネットワークでは、この PIA フィールドの記述について前記(2)の問題が絡む。すなわち、幹線ネットワーク上 (FDDI) のノードを指定する場合と支線ネットワーク (CSMA/CD) 上の端末等を指定する場合に MAC アドレスの MSB, LSB の記述を反転させなければならない。相手端末が、いずれのネットワークに接続されているか否かをユーザが認識することは適当なシステムとは言えない。これに対処する為に、ネットワークアドレス記述としては CSMA/CD の記述方式で統一する方向で検討中である。この場合 MSB, LSB の反転はネットワーク側の装置で行う必要がある。今後多様なネットワークが様々な立場で構築統合されていく中でこれらの約束を逸脱しないことが、相互接続性確保の上で重要となる。

6.2 プロトコルの整合

(1) OSI - OSI (LAN-WAN 接続の例)

階層形のネットワークでは OA/FA 化を指向して各種 DB やサービスプログラムを装備したセンタコンピュータや、問題向き処理の為の各種 WS, PC 等が接続され、閉域ネットワーク

システムとして機能するが、遠隔の事務所や支店等に設置されたWS、PC等からもこれらネットワークシステムにWANを介して接続し利用する必要がある。また、このネットワーク内に収容された装置等から、WAN上に収容されているセンタコンピュータ等へアクセスする必要がある。

更に、既存のWANに接続されている端末等が、LAN内のセンタコンピュータや、PC等と通信する必要もある。

これらのケースを考えた場合、章2.2で説明したように、LANプロトコルとWAN用プロトコルが相違することから、ゲートウェイを介したWAN側の通信方式として、3種のプロトコル選定方法が考えられる(図20)。

いずれの方法を採用するかは、夫々のケースによって異なるが、OSI化を指向したシステム/装置を実現する為には可能な限りプロトコル変換等を必要としない方式を選定すべきであり、各装置はいずれの場合にも対応できる機能を装備する必要がある。

(2) OSI - 非 OSI

OSIプロトコルと非OSIプロトコルをネットワークとして結合する方式としては章5.2(3)で述べたSNAPを介した通信が唯一である。この場合の整合範囲は高々レイヤ2までであり、レイヤ3(ネットワークレイヤ)以上のプロトコルについては、夫々のプロトコル体系に従った処理をせざるを得ない。

もし、異なるプロトコル体系を有した装置(PC等)上に構築されたアプリケーション相互の通信が必要な場合は、一方の装置がアダプタ等を介して通信相手のプロトコルを用いて通信するか、ゲートウェイによるアプリケーションレベルの中継を行うことになる。この時、アダプタ、ゲートウェイのいずれも複数の異なるプロトコルの全処理機能を用意する必要がある。

7. おわりに

コンピュータ通信/データ通信分野で発生したOSI研究と情報処理装置の手軽な足回りとして発生したLAN研究が、急速なLSI化、光通信、情報処理技術(CSD, AI文書処理等を含む)等の発展と分散処理、情報(DB, メール等を含む)流通等の利用技術の高度化を背景に融合して、新しいネットワークシステムとしてOA, FA市場で開花しつつある。

通信を開かれたものにするか、閉ざされたものにするか、これは夫々の製品の提供者側とその利用者の選択である。

本稿は、前者を選択して異機種間のネットワークの進むべき方向と、課題について論じた。

参考文献

- (1) M.A. THOMPSON : The Department of Defense Open Systems Interconnection (OSI) Implementation Plan, ENTERPRISE Conference Proceedings, June 5-9, 1988, Baltimore, Maryland pp. 4-63~4-74
- (2) R.D. Floyd : Manufacturing Automation Protocol, ICC'85, Chicago,

June 23-26, 1985, pp. 620-624

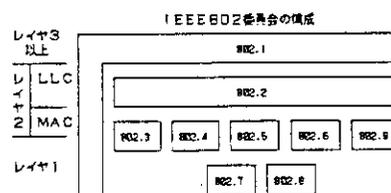
- (3) 星野智春： 船出する自治体のOSI - 東京都と宮城県, 新庁舎に導入へ, NIKKEI COMMUNICATION, 1988.8.1 PP. 51 ~ 55
- (4) 坂田真人他： 東北大学総合情報ネットワーク TAINS の構想, 情報第37回大会, 2F-3
- (5) 階層化統合LAN アーキテクチャ他, 電子情報通信全大, 1988 B-220 ~ B-223

表1 ネットワークアーキテクチャのねらいと効果

項番	ねらいと効果
1	資源共用による経済化 処理装置, プログラム, ファイル等の共用 通信回線の共用
2	資源分散による信頼性向上 システム障害時の予備, 危険分散
3	分散処理による処理能力向上 応答時間の短縮, スループットの向上, 機能別装置の活用
4	標準仕様としてのねらい (経費の削減, 拡張性・融通性の向上) プログラム作成 ネットワーク構成の変更 新装置の開発, 導入

表2 IEEE 802 委員会関係標準化活動状況

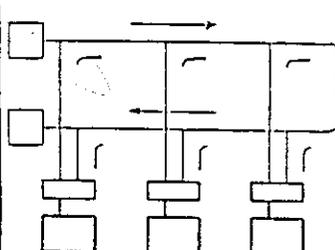
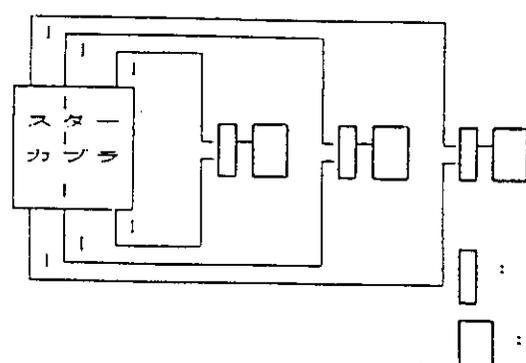
WCS#	標準化課題	標準化項目	標準化状況	
			IEEE	JTC1
1	高位インタフェース	・LANアーキテクチャ (標準モデルと番号付帯) ・ネットワーク管理 (レイヤ管理モデルとプロトコル) ・相互接続 (MACブリッジでのLAN間接続) ・ルータでのLAN-1SDN相互接続	調査完了 調査完了 調査中 調査中	SC6検討中
2	リング制御(LLC)	・LLCタイプ1/2 (GL/CO型プロトコル) ・LLCタイプ3 (アック付CL型プロトコル) ・セキュリティ (LLCのパスワード方式)	調査(88年) 調査完了 調査中	IS8802-2 SC6検討中
3	CSMA/CD	FOSTAR (10BASE5の光ファイバ化) 10BASE5(注1) 10BASE2(注1) 10BASE5(注1) 10BROAD36(注2) リビータ (MAC処理仕様) FOIRL (光リンクによる変性セグメント伝送) 10BASE-T (四対のツイストペア線化(10Mb/s)) コンフォーマンステスト レイヤマネージメント (Pascal記述)	調査中 調査(88年) 調査(88年) 調査(88年) 調査(88年) 調査(88年) 調査中 調査中 調査中	SC83で審議 開始の動きあり IS8802-3 SC6検討中 SC6検討中 SC83検討中 SC6検討中 SC6検討中
4	トークンバス	・基本標準仕様 ・光ファイバ化 (従来は双端ケーブル) ・エアメデリア (無線(衛星, 赤外線)の適用)	調査(88年) 調査中 調査中	IS8802-4
5	トークンリング	・基本標準仕様 (1Mb/s, 4Mb/s) ・基本標準仕様の16Mb/sへの高速化 ・光ファイバの適用 ・性能向上化 (帯域トークン開放系(優先ノード開放)) ・マルチリング制御規定 (ブリッジ相互接続プロトコル)	調査(88年) 調査中 調査中 調査中 調査中	IS8802-5
6	MAN	DQDB ・データ通信運用へ専用化した基本標準仕様 ・スロットの複数利用によるアクセス方式の改良	調査中	
7	BBTAG	ブロードバンド技術のコンサルタント	調査中	
8	FOTAG	光ファイバ技術のコンサルタント	調査中	
9	IVDLAN	IVDLANインタフェース (アクセスユニット(AU)と1VD標準部のインタフェース, 及び適用媒体(ツイストペア線)とプロトコル)	調査中	

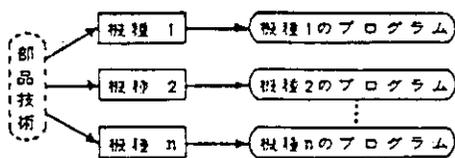


注1 nBASEm
データ速度 nMb/s
幹線長 mメートル
ベースバンドLAN

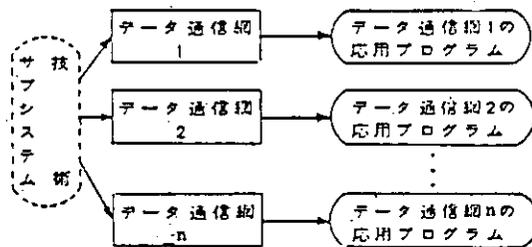
注2 10BROAD36
データ速度 10Mb/s
チャネル数 36個
ブロードバンドLAN

表 3 光 CSMA/CD 伝送路の実現方式

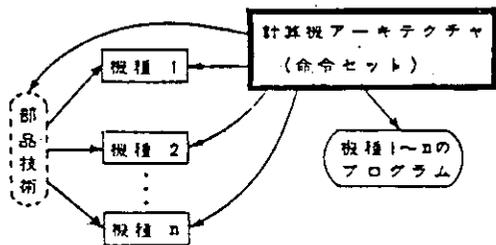
分類	U字バス	能助スターバス	受助スターバス
構成			
分岐	ハーフミラー	能助スターカプラー	受助スターカプラー
衝突検出	トランシーバ	スターカプラー	トランシーバ
信頼性	中	LLS	MLG



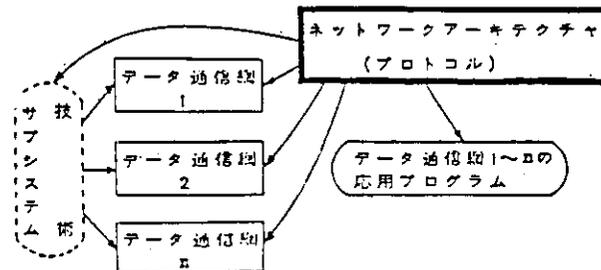
(a) 第2世代までの計算機の開発



(a) 従来データ通信網の開発



(b) 第3世代以降の計算機の開発



(b) ネットワークアーキテクチャに基づいたデータ通信網の開発

図 1 ネットワークアーキテクチャの概念

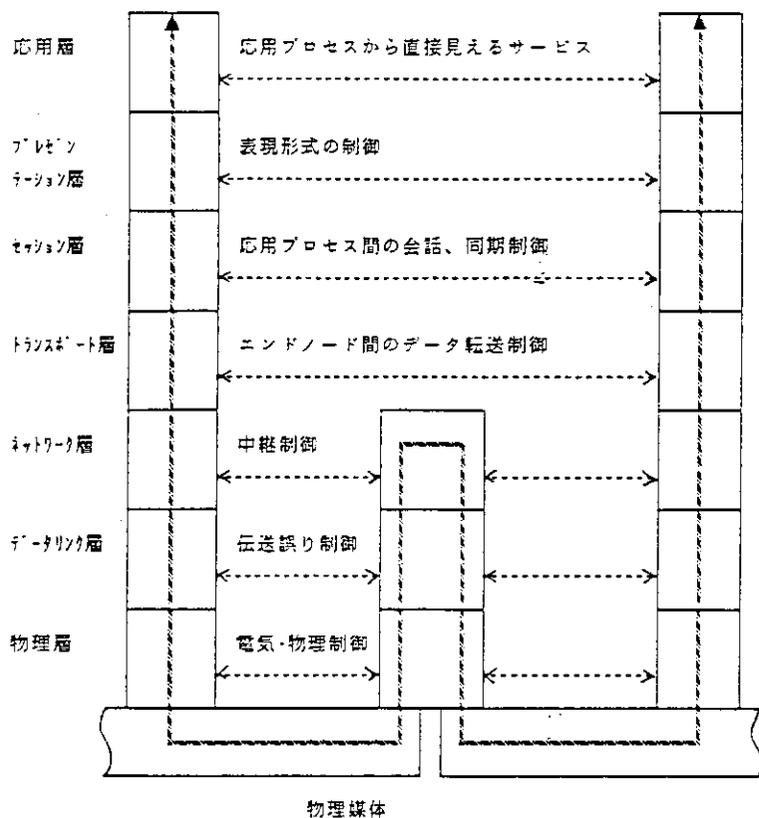


図2 OSI参照モデル

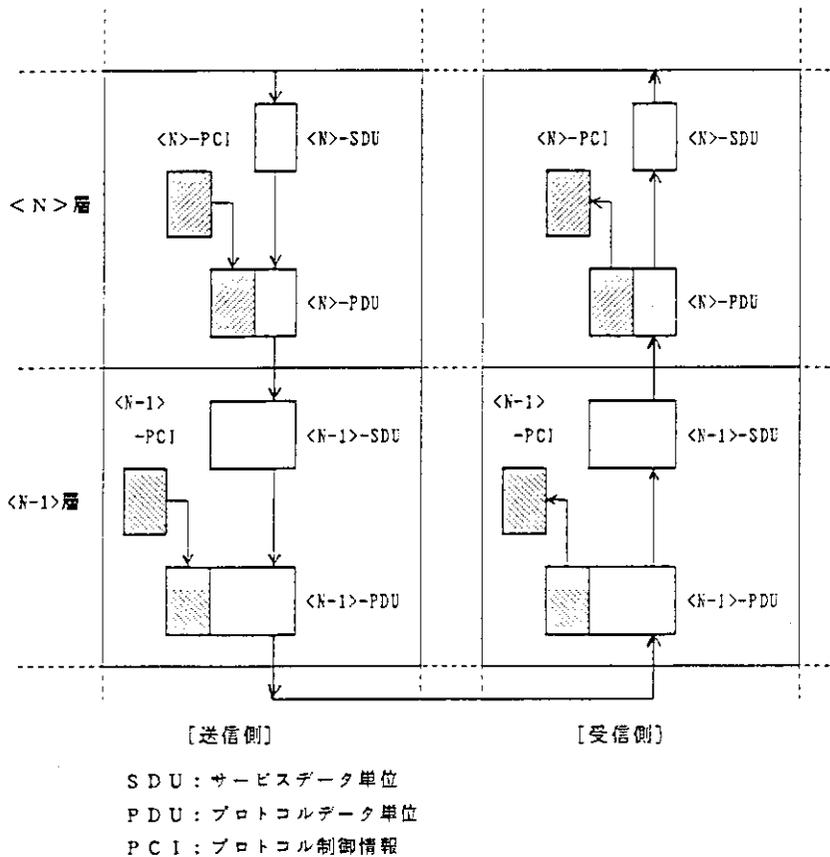


図3 プロトコル形式の基本概念

ISO R. M.	ARPA Internet	4.3 BSD Implementation	具体的なプロトコルの適用例	
アプリケーション	Process / Application	User programs & libraries		
プレゼンテーション				
セッション		Sockets	SOCK-STREAM	SOCK-DGRAM
トランスポート	Transport	Protocols	TCP	UDP
ネットワーク	Internet		IP	
データリンク	Network	Network Interfaces	Ethernet driver	
物理	Physical	Network hardware	Interlan Controller	

TCP : Transmission Control Protocol
 UDP : Uniform datagram Protocol
 IP : Internet Protocol

図4 OSI参照モデルと既存の主要モデル例

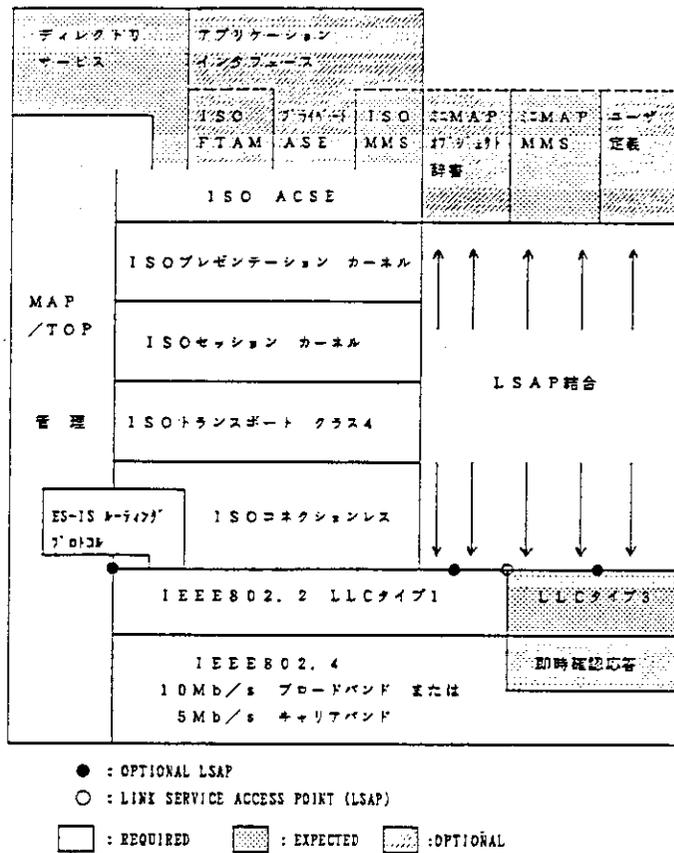


図5 MAP V3.0プロトコル

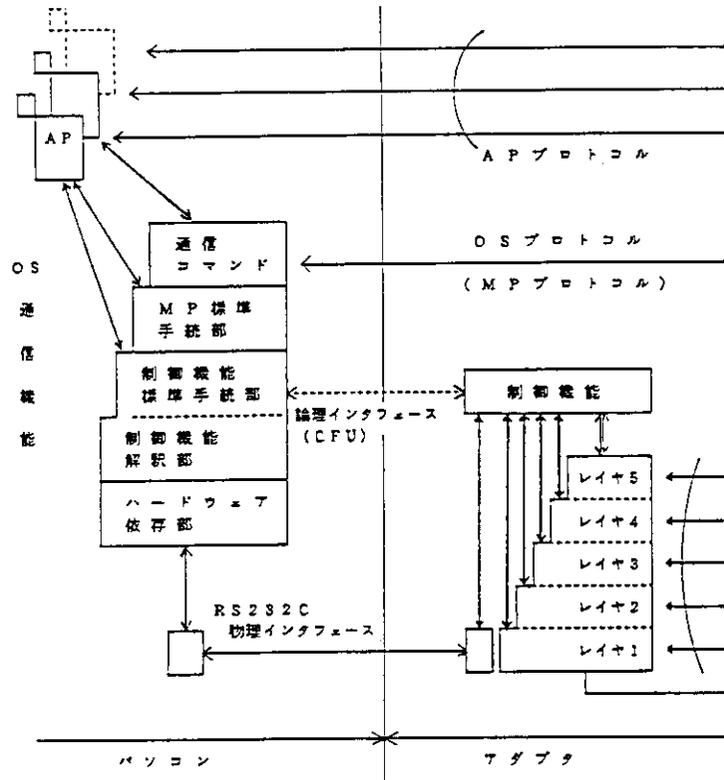


図6 パソコン通信方式例

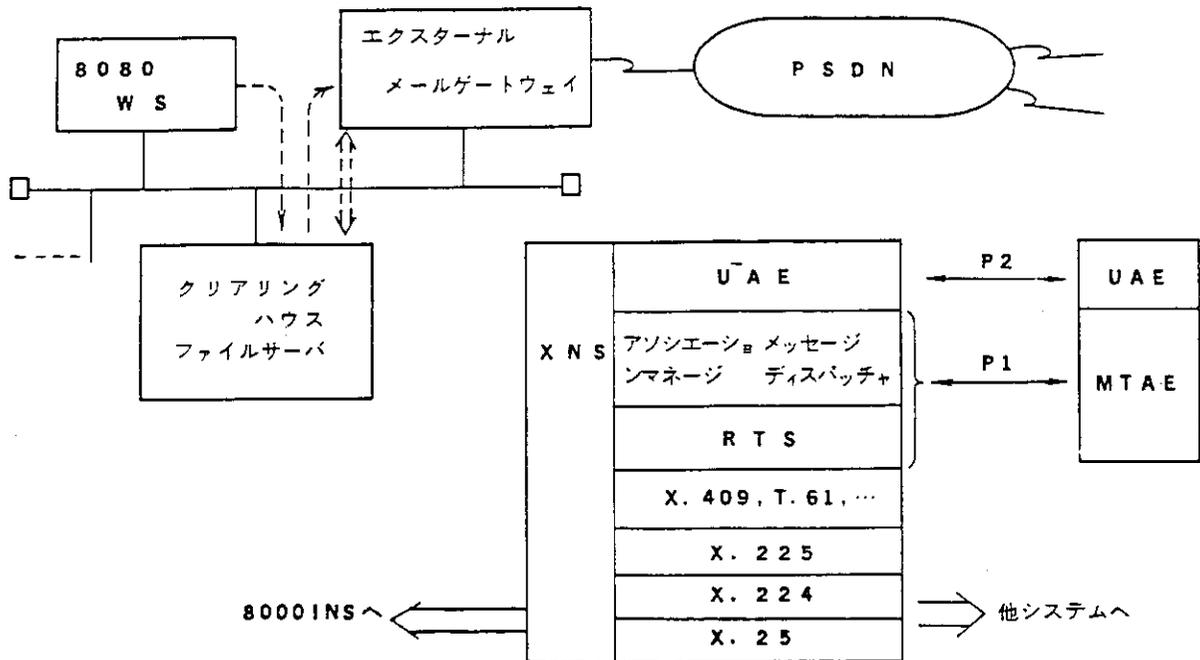


図7 ゲートウェイ方式でのMHSサポート例 (8000 INS by F. X.)

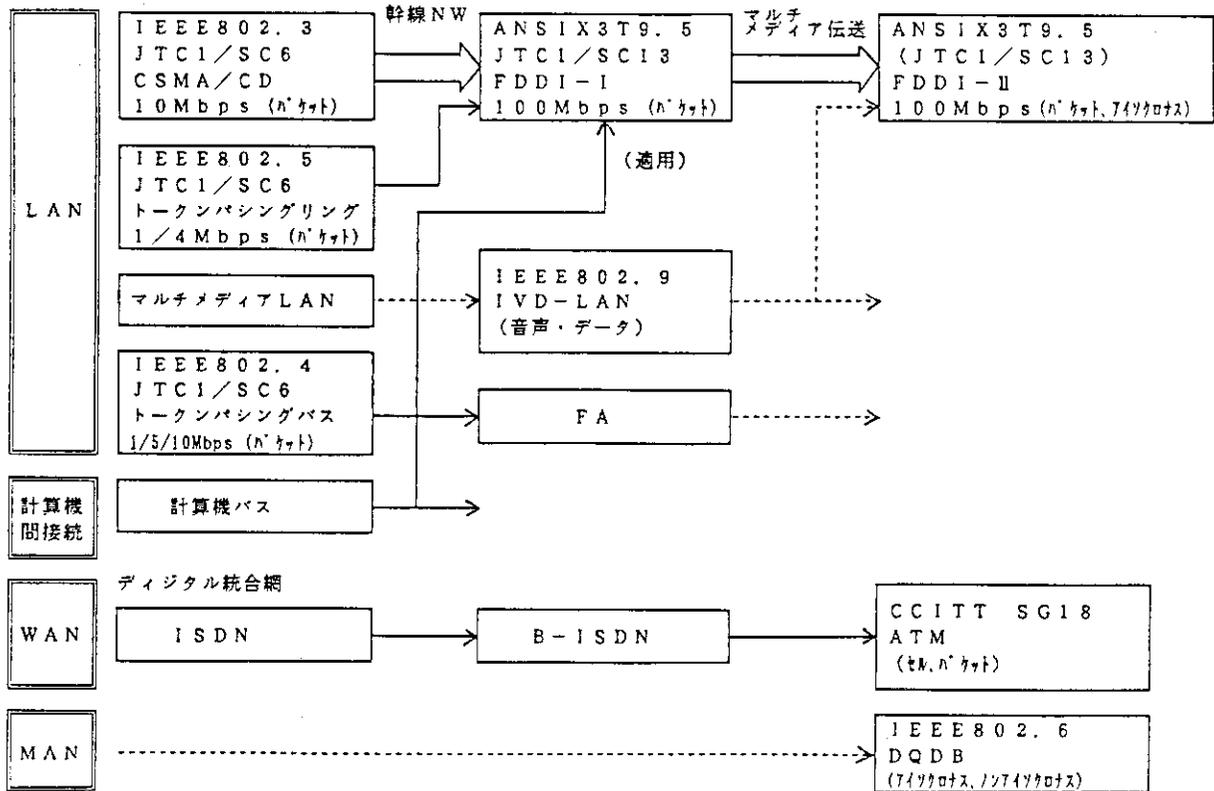


図8 ネットワーク高度化の展開

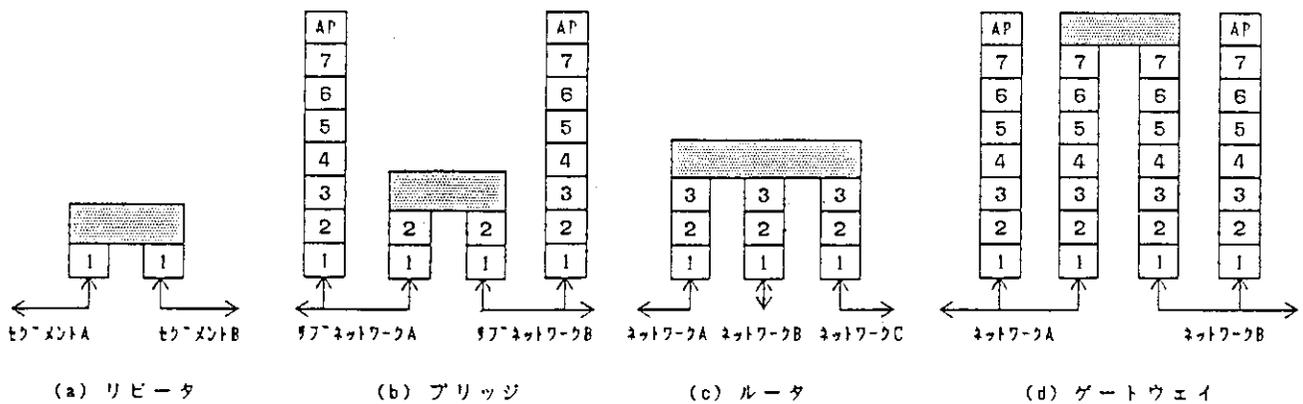


図9 リピータ、ブリッジ、ルータ、ゲートウェイのモデル

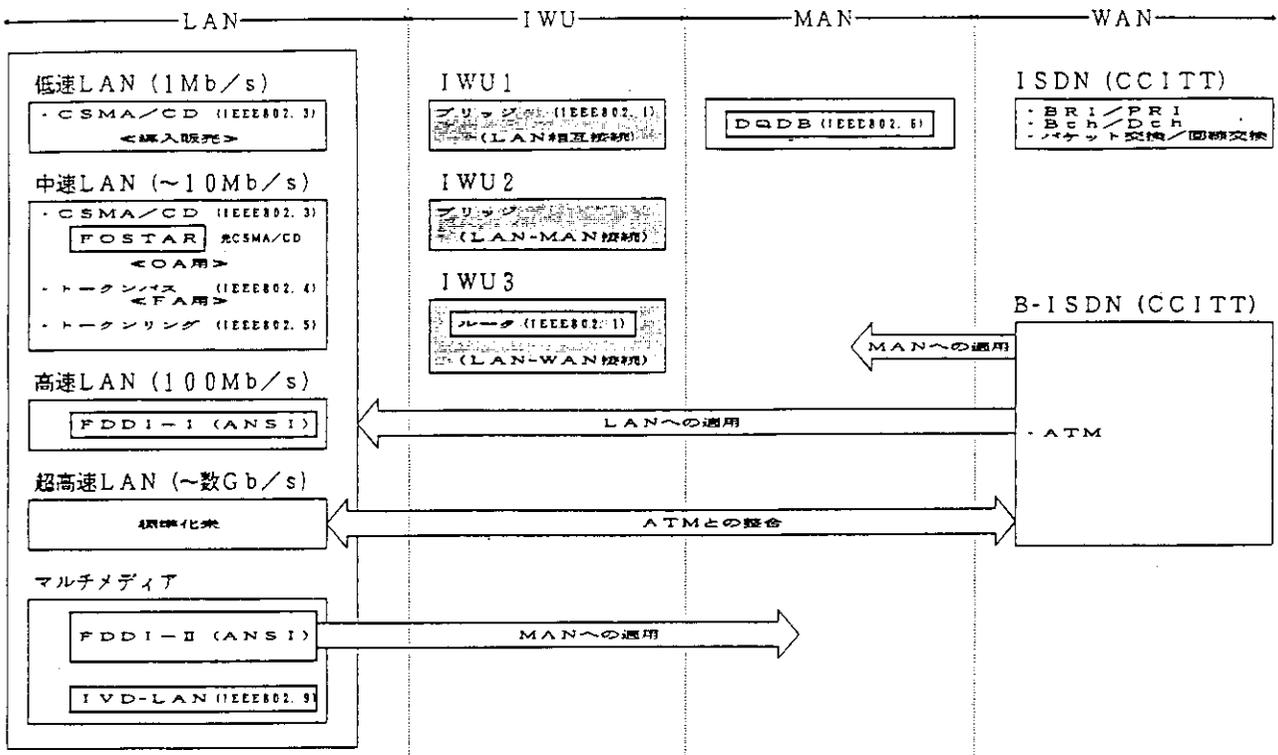


図10 標準化活動におけるIWUの位置付け

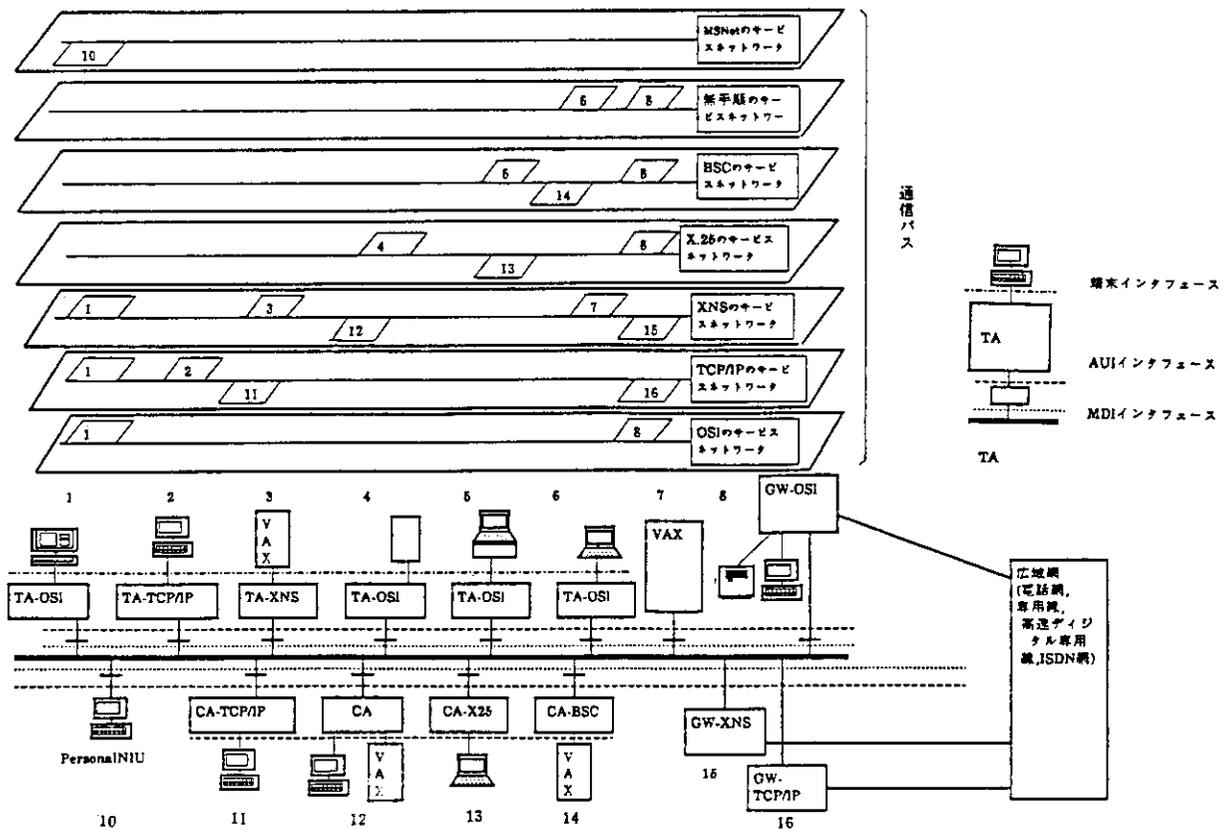


図11 異機種間収容LANのネットワーク構成

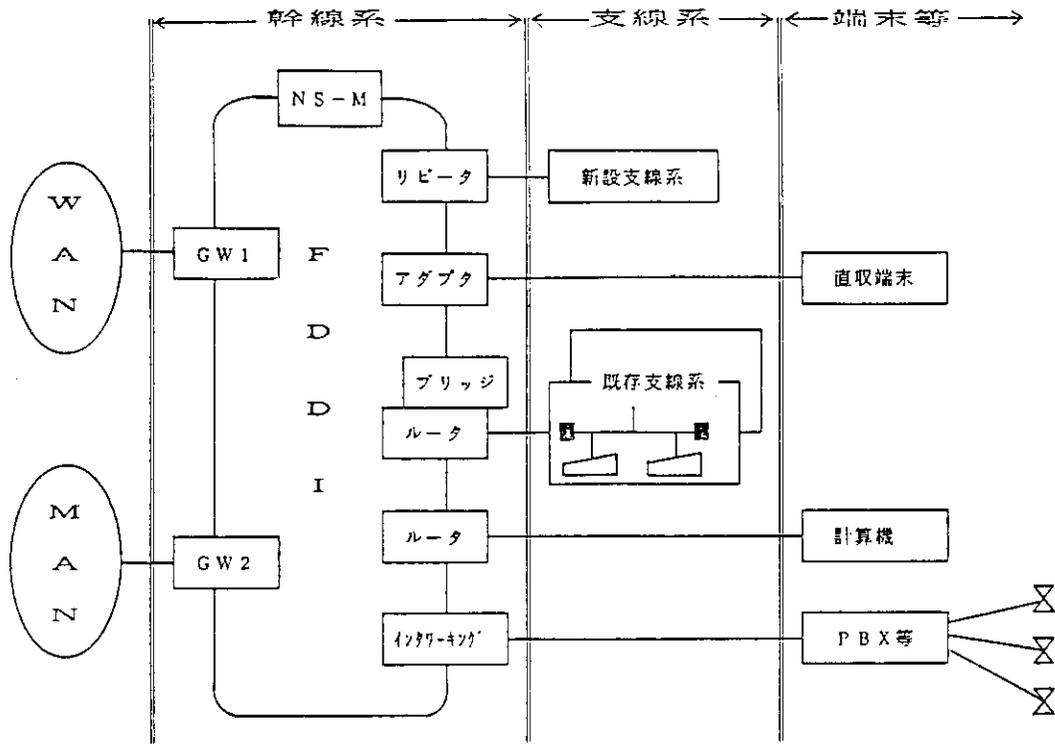


図12 階層形のネットワークの概念

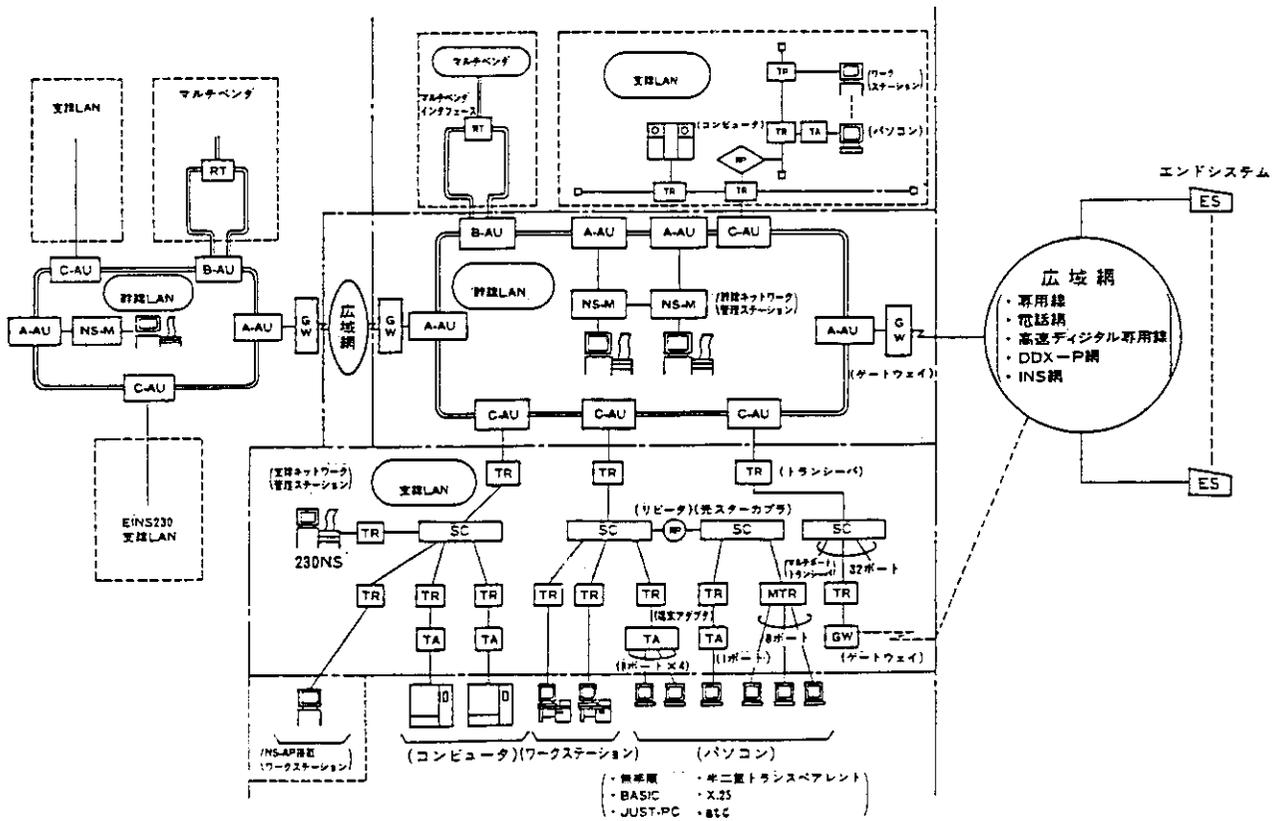


図13 階層形のLANの具体的構成例

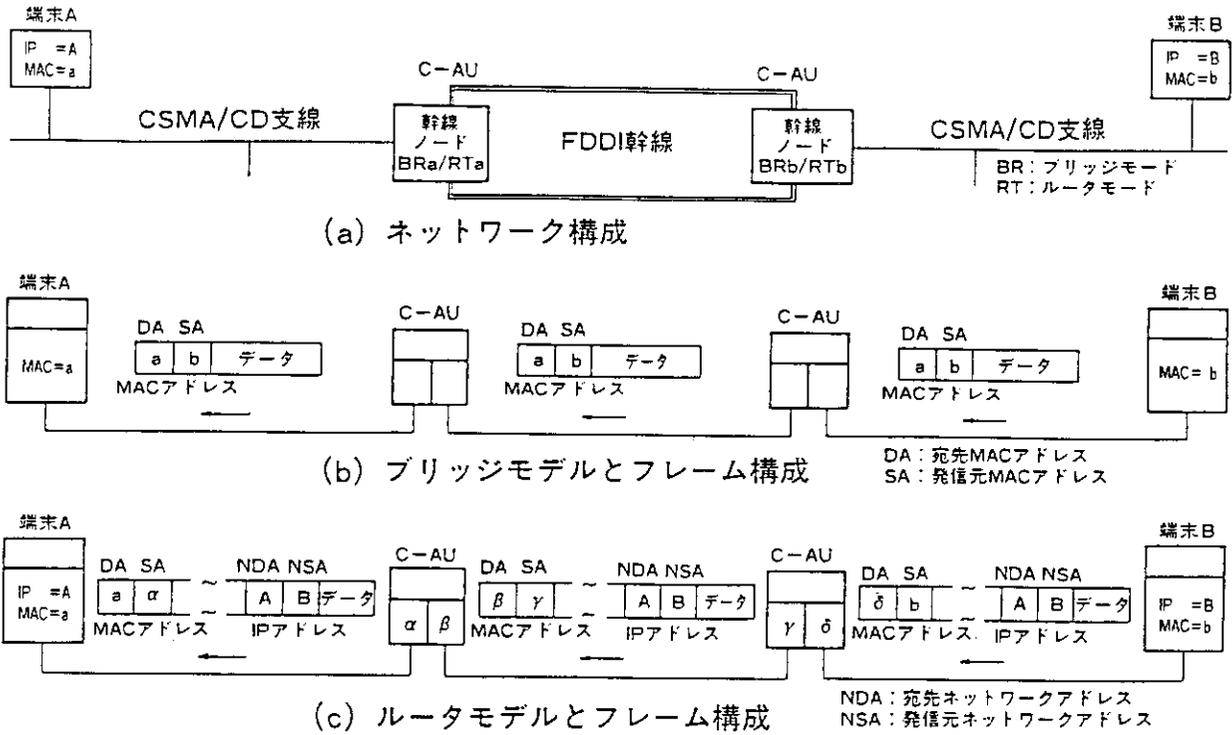


図14 OSI LAN間中継方式

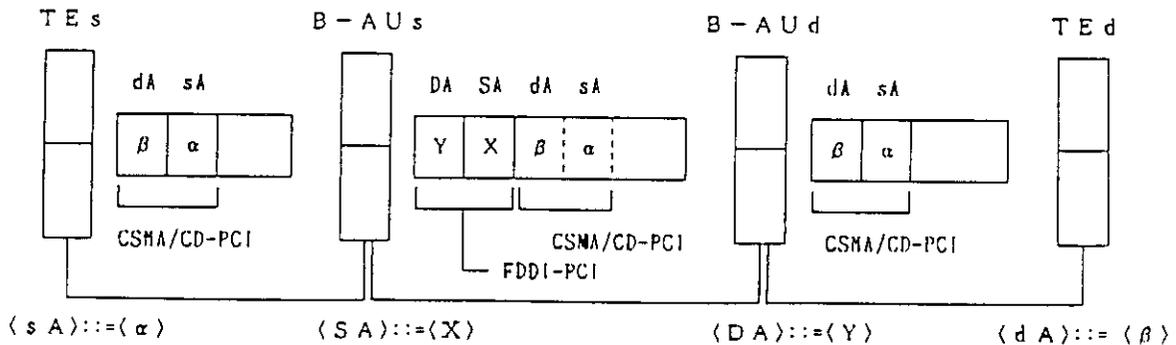


図15 トランスペアレント伝送中継方式

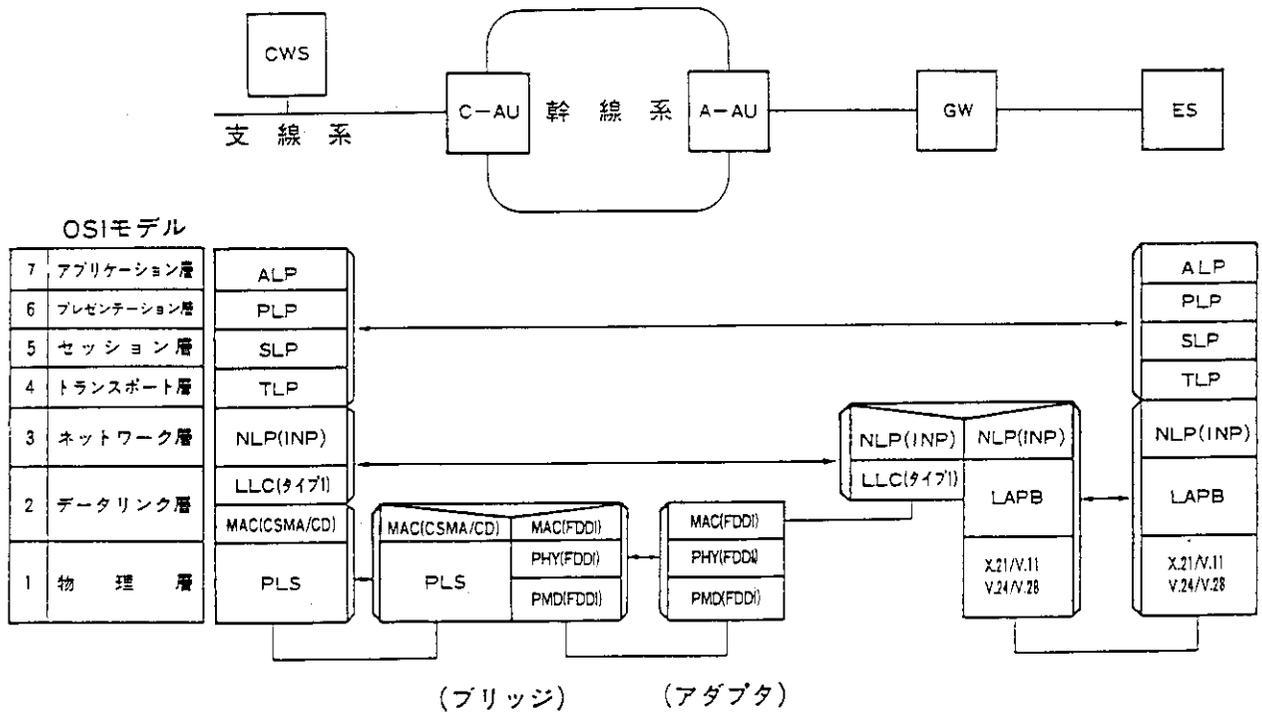


図 16 OSI 通信方式例

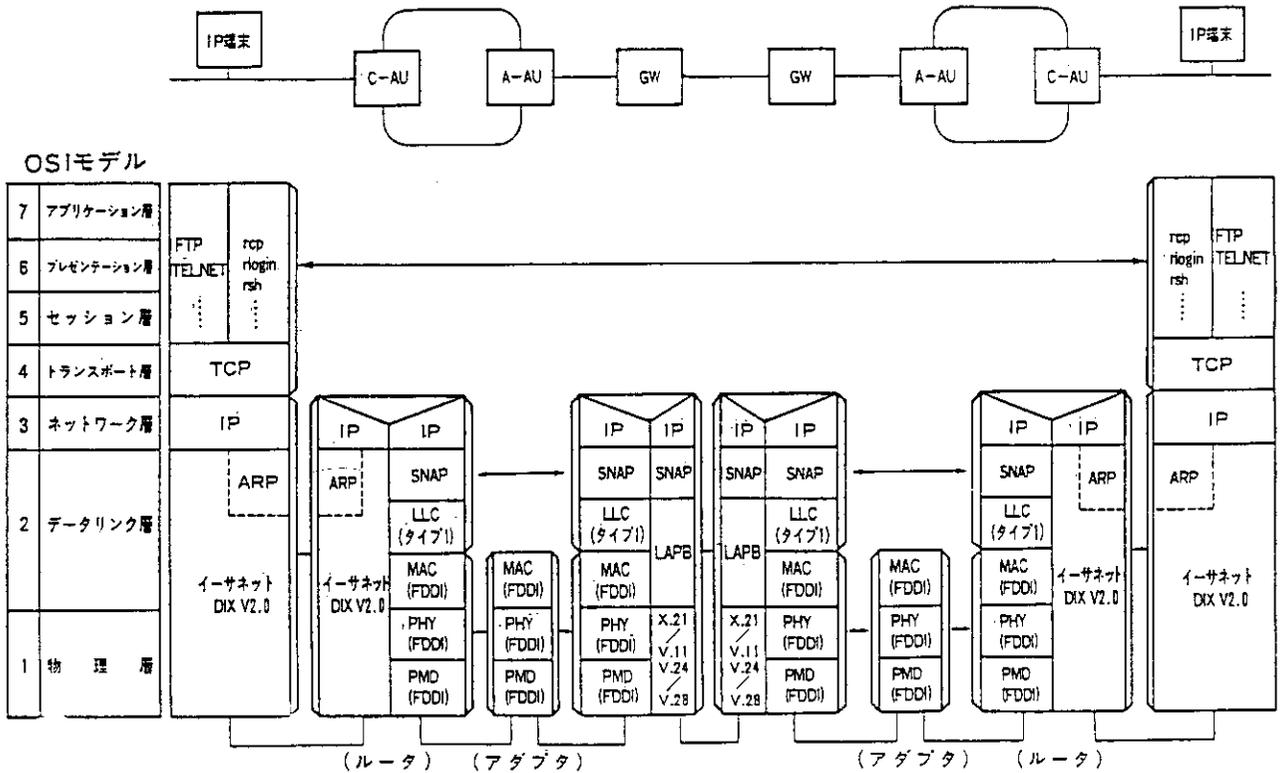
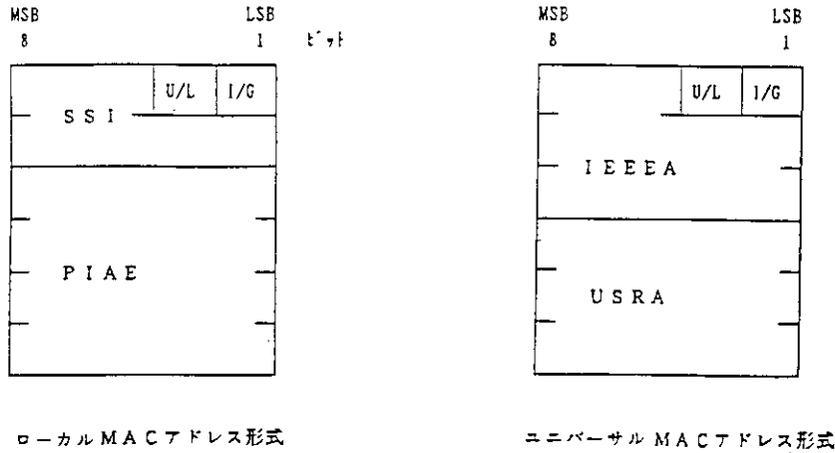


図 17 OSI-LANによるTCP/IP通信方式例



I/G: 個別/グループアドレスの識別子
 U/L: ローカル管理/グローバル管理の識別子
 SSI: Subnet Segment ID
 MACアドレスを経由しないで通信可能な範囲(個々の支線LAN)に対して割り振る識別子
 PIAE: Physical Interface Address Extension
 SSI(個々の支線LAN)内でアドレスを一意に識別する識別子
 IEEEA: IEEE標準事務局が割り当てた製造業者識別子
 USRA: 製造業者が設定したノード識別子

図 18 MAC アドレス形式

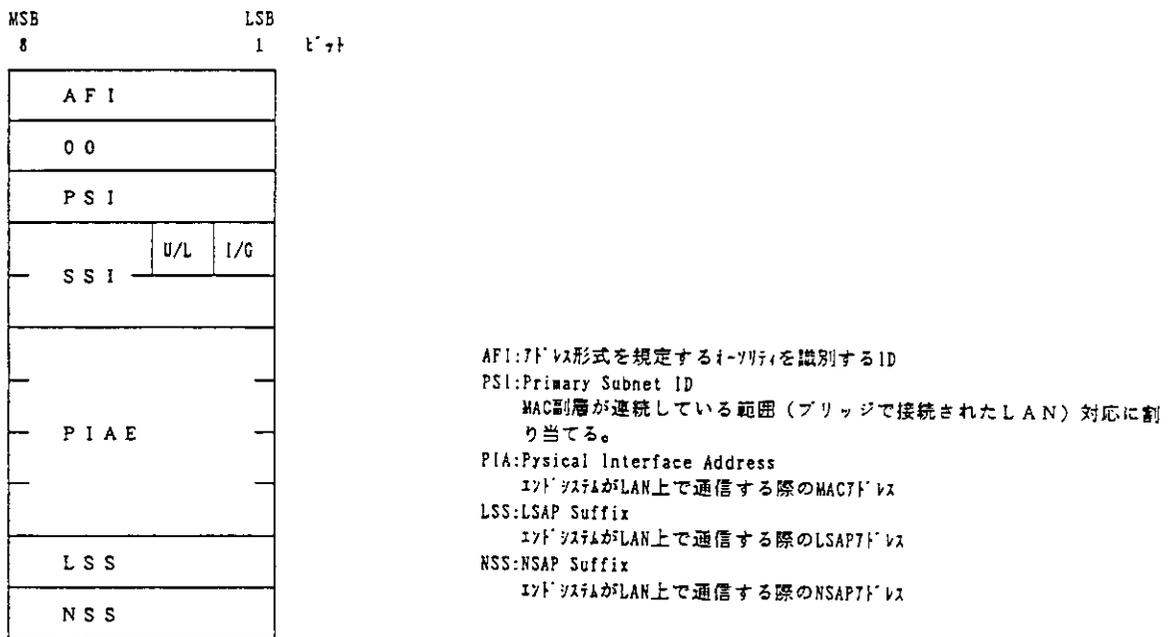


図 19 ネットワークアドレス形式 (LAN内通信)

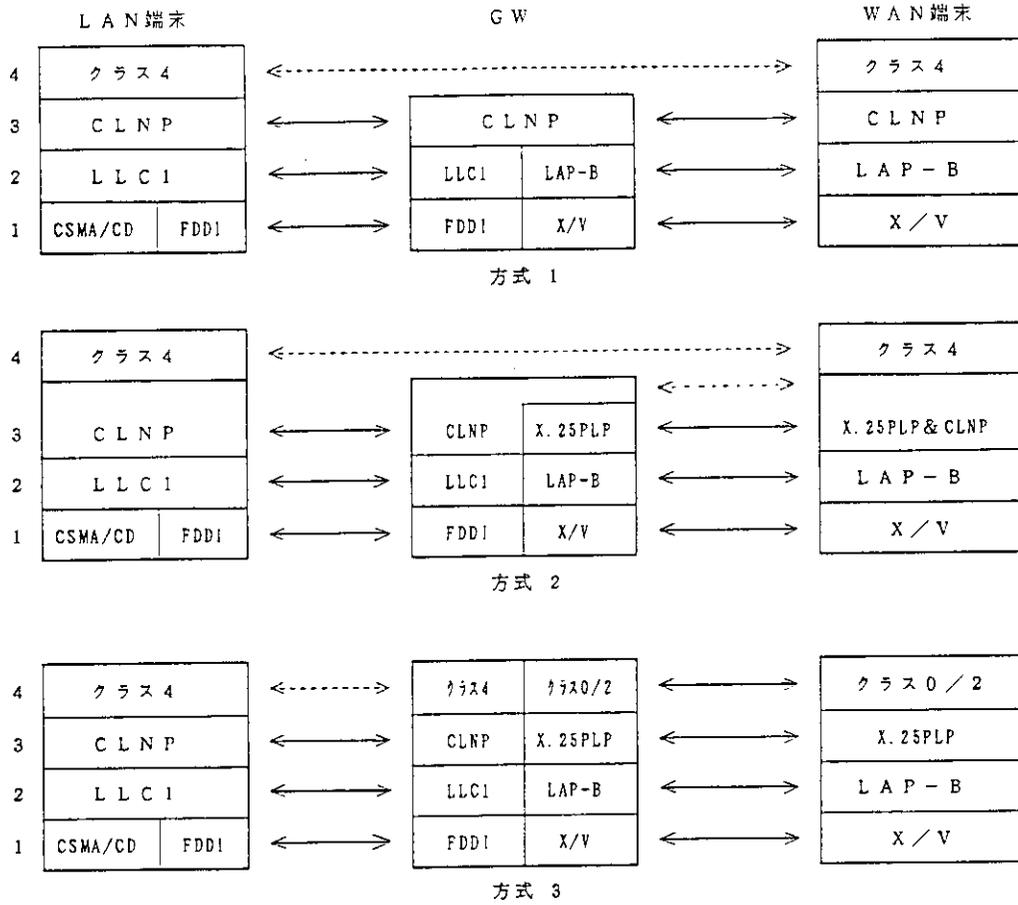


図 20 LANと公衆網（専用線等）収容端末の通信方式代替案

3. ネットワークの応用例

3.1 電総研でのLANの現状

大石 東作 (電子技術総合研究所)

電子技術総合研究所情報部門に初めてローカルエリアネットワーク (LAN) を導入し、3台の計算機を接続して運用を開始した1983年末当時には、日本国内における開放的なLANの設置例は少なく、導入にあたってはいくつかの困難に遭遇した。

現在では、情報部門の各共用計算機システムが、基本的に2系統のLAN (CHAOS-LAN および CLEAN-LAN) に接続されている。CHAOS-LANには、各研究室の約110台程度のワークステーションも接続され、さらにIP-Routerを経由して、1987年度末に導入された工技院筑波地区のスーパーコンピュータ用のLANとこれに付随して設置された研究所全体のLANおよび情報部門のその他のLANに接続されている。

また、対外的な観点からも、低速なレベルでは国内 (JUNET経由) ・海外 (CSNET経由) の多くの機関との接続を完了している。これらのLANは、すでに高度で国際的な研究活動に不可欠なインフラストラクチャになってきていると言えよう。

この論文では、電総研において約5年前から運用しているEther-Netを用いた異種プロトコルLANの導入の経緯と得られた経験、および現状を紹介し、今後を展望する。

Current Status of Local Area Network in Electrotechnical Laboratory

Tosaku OISHI
Computer Science Division
ELECTROTECHNICAL LABORATORY
1-1-4 Umezono, Tsukuba Science City, Ibaraki 305, Japan

In late 1983, a local area network (LAN) with three computers nodes was introduced into our laboratory for the first time. At the time, open local area network systems were very rare in Japan, and we have encountered various difficulties in maintaining and managing the network.

Currently, we installed eight common use super-mini computer systems and more than 110 engineering work stations on the two back bone LANs. The LANs are also connected to the super-computer LAN introduced in 1988 and several sub-networks in our laboratory.

The networks are connected to the Japanese domestic networks via JUNET and the international networks via CSNET. Our networks are now functioning as a vehicle for highly advanced and international research activities.

This paper presents some of our experience in managing and maintaining a heterogeneous protocol open local area network for our research activities.

Keywords : local area network, ether net, protocol, heterogeneous protocol, coaxial cable, workstation

1. はじめに

今日ではローカルエリアネットワーク（以下LANと略す）には、スーパーコンピュータからパーソナルコンピュータまでが接続可能になりつつあり、LANは、その存在自体が情報関係の研究所や大学等では既に日常的なものとして、研究活動等に不可欠なものとなろうとしている。

しかしながら、電子技術総合研究所情報部門に初めてLANが導入された1983年末当時には、日本国内における開放的なLANの設置例は少なく、導入にあたってはいろいろの困難に遭遇した。今日の国内におけるLANの幅広い普及を見ると、今昔の感がある。

以下では、電総研において約5年前から運用しているEther-Netを用いた異種プロトコルLANの導入の経緯と得られた経験および現状を紹介し、今後を展望することにしたい。

2. 情報処理研究用LANとその意義

1983年当時、電子技術総合研究所情報部門における研究は、共用の計算機によるTSSと各研究グループが保持する実験用計算機群を土台として進められていた。

これらの計算機群はDEC-NetやPRIME-Netなど、一部製造業者提供のネットワークで結合されている部分もあったが、論理機能の点では充分ではなく、そのうえその結合も閉鎖的で比較的固定的なものであった。また異機種間的高速結合は非常に困難であり、情報処理の研究に必要な高い柔軟性を持つシステムとは言い難かった。

情報処理関連の研究において、国際レベルの研究を持続させ、さらに一層の展開を図るためには、新たに導入される予定のシステムを含めて研究用計算機群を有機的に結合し、柔軟で効率の良い研究体制を維持するための基礎媒体を構築することが是非とも必要であった。研究用のLANはそのためのもっとも有効な手段になると考えられた。

また、今日のようなワークステーションの結合による分散処理やパーソナル・コンピューティングなどを基本とした情報システムの基本形態の実現を予測し、その実験をすすめるための土台としても重要であると考えた。LANの導入により期待された効果を、当時の研究計画から抜粋すると次のようになる⁽¹⁾。

(1) 境界領域および複数分野にまたがる研究の推進

従来独立に行われていた分野を結びつけ、より高度な研究に発展させることが可能になる。たとえば、

- a) 画像・図形あるいは音声と自然言語処理の研究の組合せによる高度な対話処理技術の研究。
- b) VLSI CADの研究

これは非常に高い機能レベルから物理レベルまで広い範囲を包含し、言語や設計用ハードウェアについても各種のものを自在に利用可能なことが必要である。

c) 高度な画像理解、音声理解機能の研究

画像にしても音声にしても、信号レベルの処理と、より高い記号レベルの処理を同一のシステムの上で実行するのは多くの場合實際上困難で、なんらかの形で複数システムの機能を利用することが必要となる。

d) このほかにも、知能ロボット、エキスパート・システム、高度な文書作成とデータ・ベースなど、異なる領域にまたがる応用は今後ますます増えると考えられる。

(2) 将来の情報システムの基礎技術に関する研究の推進

LANの導入により、はじめて実験可能な、あるいは意味をもつ研究も多い。たとえば、

- a) 分散処理と分散データ・ベースの研究
- b) パーソナル・コンピューティングと知的インターフェース、高度なプログラム作成環境等の研究
- c) ローカルエリアネットワークおよびネットワーク・プロトコルなどネットワーク自身に関する研究などが考えられる。

(3) 専用マシン、入出力機器等の資源の有効利用

- a) LISPマシン、SUN、DOMAIN等の、すでに導入済みあるいは計画中の個人用システムやワークステーションはかなり存在するが、今後の研究の進展にともないますますその傾向は強まる。ところがこれらのシステムは本来LANと一体となって使われるように設計されているものが多く、単独でも充分利用可能なものとするには、それぞれさらに多くの投資が必要となる。LANを導入することでファイルや高機能プリンタ等を共有可能とし多大の重複投資を避けることが可能となる。
- b) ソフトウェアやデータに関しても相互利用が容易になり研究が加速される。また異なったアプローチにより得られる性能や結果の相互比較等も容易になる。

(4) 研究活動の効率化

LANは、上記のような多くの利点のほかに、電子メール、電子ニュースをはじめとする各種の共同作業ツールを提供するので、情報交換が効率的に行われるようになり、研究グループの構造に柔軟性を持たせ、研究の動的活力を維持するうえで特に有効であると考えられる。

情報処理の研究では、各種の可能性を臨機応変に試みることが可能なように、柔軟なシステムを実現しておくことは何にもまして重要である。換言すれば、研究用LANは、上のような要求を満たす情報処理研究のための基本的インフラストラクチャであると位置付けることができる。

3. 導入までの経緯

電子技術総合研究所情報部門は、1982年当時共用の計算機として4システムを保有し、TSS環境で記号処理や画像処理等に特化した使い分けを行っていた。使い分けのためには、各研究室から情報共用計算機室まで4線式のシリアル回線を200組程敷設し、これを回線交換器（ポートセレクタ）を経由して計算機に接続することにより、各計算機へのアクセスの切換えを行っていた。これで、研究者は必要とする計算機に自由にアクセスすることが出来る。しかし、共用計算機同士の相互接続は不十分なものであり、ファイルや入出力装置の共有等はほとんど不可能であった。

当時、米国では、Athenaプロジェクト等、大規模なキャンパス・ネットワーク・プロジェクトの立上げの時期であり、我々も電総研情報部門における今後の研究の推進のためには、LANの

導入が不可欠であると強く考えるようになった⁽²⁾。そこで1982年12月には、研究用LAN検討会を設置し、LAN導入に関する技術的な検討と情報部門全体の合意作りを開始した。1983年度には、並列分散処理に関する電総研内特別研究として比較的小規模な予算が認められ、LAN導入のための具体的な作業を開始することが可能となった。

LANとしては、同軸ケーブルを用いた10Mbits/secのCSMA/CDタイプのものを基本とすることが決められた。接続する当初の計算機としては、1台のDEC SYSTEM-2060と、2台のLISPマシン(Symbolics 3600)を想定し、LAN接続のためのハードウェアとソフトウェアの調達のための調査に入った。その結果、LISPマシンについては、メーカ側からの調達の目途がついたが、SYSTEM-2060に関しては、まだメーカ製の製品は当分の間調達することが不可能であることが判明した。このため、米国MITからの協力をおおぎ、同大学で開発されたChaos Netを導入することとした。LISPマシンには、Chaos用のハードウェアとソフトウェアが、標準品として装備されていた。この時点で、電総研のLANはソフトウェア・プロトコルとしては、しばらくの間Chaosを使うことが決った。

1983年12月には、2060用ハードウェア、ソフトウェアおよび同軸ケーブルを入手し、LANの設置を行った。ケーブルの総延長は、最大の500mとした。LANの運営を開始し、LAN上でのファイル転送(CFTP)、リモートログイン(TELNET)、メッセージ交換(CHSEND)、メール機能(MM)、SYSTEM-2060による、2台のLISPマシンへのファイルサーバ機能が実現されたことを確認した。

しかしながら、この電総研最初のLANは、はじめの間は大変不安定であった。原因は、2060用LAN制御基板の間欠的な不調によるものであったが、それを特定するのが非常に困難で、ベンダー側の経験も乏しいこともあって、原因をつきとめるのに多大の日時を要した。結局LAN制御基板は、修理のため太平洋を1往復し、電総研初めてのLANが本当に安定した動作を開始するようになったのは、既に1984年の半ばであった。

4. 導入後の経過

LANが安定して動作するようになった後も、LAN制御基板が当時は高価であったせいもあり、LANへの計算機の接続数はなかなか増加しなかった。それでも1985年に入ると、2台のLISPマシンが追加され、さらに同年4月に入ると、3台のApolloワークステーションと1台のSunワークステーションが追加された。これが、エンジニアリングワークステーションとUNIXマシンの時代の幕開けとなった。

追加されたワークステーションはすべて、プロトコルとしてTCP/IPを採用していた。このため電総研のLANは、異種プロトコルの共存するLANとして運用されることになったが、共存による不具合は特に発見されなかった。さらに、LISPマシン(Symbolics)は、ChaosとTCP/IPの両方のプロトコルをサポートすることができたので、両プロトコル間のゲートウェイマシンとしても動作するようになった。1985年9月ごろの、電総研LANへの接続状況をFig. 1に示す⁽³⁾。その後、2台のVAXと2台の μ VAXが接続された。

1986年に入ると、5月になって一挙に18台のNEC PC-9801が接続された。これらのPCは、プロトコルとしてXeroxのXNSを用いたMS-Networkとして動作を開始した。電総

研 LAN にとって 3 種類目のプロトコルである。これらの PC は、当初は UNIX 環境とも孤立していたが、その後プロトコルを TCP / IP に変更したため、UNIX 環境とも共存できるようになった。

1987 年は、電総研 LAN にとって激動の年となった。接続数の激増である。1985 年頭に、関係者に接続依頼をしていたのがウソのように感じられた。まず 3 月に、Sun 3/280 s が通信サーバとして導入された。LAN を介したメールサーバばかりでなく、uucp により JUNET 接続が本格的に開始された。これにより電総研の情報部門は電子メールと電子ニュースの時代に入った。メールやニュースに、主として日本語が使われるようになったことはいうまでもない。

6 月半ばには、米国の CSNET との接続を開始した。これにより、電総研情報部門では、所内・国内・海外へのメールの交換が、統一的なユーザインタフェースで行えるようになった。

またこの年は、設備関係の予算に比較的恵まれたこともあって、情報部門の共用計算機も一新され、各研究室に多くのワークステーションが導入された。これらが全て LAN に接続されたのはもちろんである。また、いくつかのサブネットワークも敷設され、これらもメインの LAN にブリッジやゲートウェイを介して接続されている。

1987 年 11 月には、米国 SRI にある NIC に、正式の IP アドレスの取得を申請し、数箇のクラス C のアドレスを取得した。

1988 年 1 月の LAN への接続状況を、Fig. 2 に示す。Fig. 1 と、Fig. 2 を比較すると、まさに隔世の感がある。

LAN への接続数の変遷を、Fig. 3 に示した。1983 年末に、3 台接続で運用を開始した LAN は、1988 年 8 月初現在で 140 台のマシンが相互接続され、かなりの規模の LAN に成長した。最近では、接続数の増加率が著しいが、今後はワークステーションの導入・維持・管理に関する予算面での制限等もあり、この数は一定のレベルで飽和するものと考えられる。

5. 情報部門 LAN の現状とその運用

Fig. 4 に、電総研情報部門の共用計算機システムとその周辺の LAN の現在の構成を示した。各共用計算機システムは、基本的に 2 系統の LAN (CCIPR-CHAOS-LAN および CLEAN-LAN) に接続されている。各研究室の多数のワークステーションと共用計算機システムとの交信等は、CHAOS-LAN を経由して行われる。また、CHAOS-LAN は、IP-Router を経由して、1987 年度末に導入された工技院筑波地区のスーパーコンピュータ用の LAN とこれに付随して設置された研究所全体の LAN、および情報部門のその他の LAN に接続されている。

CHAOS-LAN には、各研究室から自由に接続が認められ、ディスクレスワークステーションを接続することも許されている。一方、CLEAN-LAN への接続は、共用計算機を主体としており、制限的な運用を行っている。その理由は、ファイルシステムを共用するために共用計算機同士の NFS (NETWORK FILE SYSTEM) 接続を行っており、そのため相互の高速通信の維持が必要で、他の多数のワークステーションの交信による干渉を避けたいからである。

電総研情報部門の LAN は、導入の経緯から異種プロトコルが共存するネットワークであるが、

共存を原因とする障害は発生しなかった。異種プロトコルの共存といっても現在のネットワークでは、TCP/IPプロトコルによるパケットが大勢を占めているのはいうまでもない。

ネットワークによる資源の共用という観点からは、NFSによるファイル資源、レーザプリンタ、画像入出力装置等の共用の効果が非常に顕著であり、ネットワーク設置の狙い通りであったと言えよう。

6. LANの維持管理と信頼性

LANの維持管理には、ハードウェア面とソフトウェア面の両方がある。電総研情報部門LANでは、ハードウェア的には同軸ケーブルシステムおよびトランシーバまでは、情報共用計算機室で管理しているが、そこから先の管理は各ワークステーション等の担当者に任されている。

ケーブルシステムの不調は、初期の段階で数回あった。故障診断のツールが全く無い状態での、故障箇所の発見は困難を極めた。ほとんどの故障はケーブル切断形式トランシーバの同軸コネクタ部の接触不良によるものであった。また、同軸ケーブルの末端処理は素人にはほとんど手に負えないことが判明した。このため、以後ケーブル切断形式によるトランシーバの新規採用はとり止め、噛みつき型のトランシーバの使用をほとんど強制的に推奨した。噛みつき型のトランシーバは、その接続法の野蛮さにもかかわらず、安定して動作することが確認され、また信頼性の高いことに驚かされた。もちろんトランシーバ接続時には短絡事故を何回か起こしたが、接続作業中のトランシーバによるものだけに、事故の発見と対策は容易であった。

全体として、同軸ケーブルによるEthernetシステムは、完全に受動的なものであるため非常に安定して動作し、またオンラインでの新規接続が可能である等システムとしての柔軟性も高いという印象を受けた。光ケーブルシステムのように局所的な停電等で、システム全体がダウンする可能性があるとか、オフライン状態での特殊技能者による新規接続が必要というのとは、対照的である。

ソフトウェア的な信頼性の問題は、個々のマシンの問題であることが多いので、ここでは特に触れない。LANの維持管理の問題の一つとして、マシンのIPアドレスやニックネームの管理がある。我々は、基本的にはこれらを1台のマシンで一元的に管理することとし、そのマシンをいわゆるYellow Page（以下YPと略す）サーバとした。他のマシンでは、IPアドレス等の情報は、YPサーバから受取る。YP機能の利用は、ネットワーク管理の一元化と簡素化に大いに役立っている。すでにYPは、大規模ネットワークの運用に不可欠な機能といえよう。

7. LAN上のトラフィック

電総研情報部門のLANにおける、パケットのトラフィックは、すでにかかなりの量に達している。これは、CHAOS-LANには、100台程度とかなり多くの台数の計算機を接続しているからである。

LAN Analyzerによって、CHAOS-LANを120時間ほど監視した結果をTable 1に示した。

CHAOS-LANにおけるトラフィックは、すでにかかなりの量に達しているので、今後このLANへの接続台数が増えると、パケットの衝突（コリジョン）が増え、ネットワークの効率が悪くなることが予想される。Ether-net（CSMA/CD）方式では衝突が増え始めると、ネットワークの効率が極度に低下するのは、よく知られている⁽⁴⁾。したがって、このLANには今後、無制限に接続台数を増やすことは、考えものである。今後の接続は、サブネットワークへの接続を主体とすることとし、またメモリスワップ等でパケット量を増やしがちなディスクレスワークステーションをサブネットに移行させ、主体となるLANのパケット量を増加させないことが必要となろう。

CHAOS-LAN全体のパケットの衝突の発生状況は、LAN Analyzerに機能が無いため観測していない。NFSサーバ等としてネットワーク処理の負荷がかなりかかっているSUN3/280 Sでetherfind機能を用い観察したところ、1台当りでは、衝突回数は出力パケット数の0.7%程度であったが、ネットワーク全体の目安にはならない。

8. 電総研LANの今後

これまで紹介してきたLANを利用することにより、画像入出力が可能なワークステーションと超高速なベクトル処理型のスーパーコンピュータを組合せた高度な画像処理の研究や、音声入出力が可能なワークステーションと並列処理型ミニスーパーコンピュータを組合せた、高速で高度な音声認識の研究が実施される等、その効用は着実に上がってきている。今後もこのような異種機関結合を含めた、より進んだ情報システムの実現をめざす研究が一層の充実をはかれるものと期待される。

現在使用しているLANの速度は、10Mb/secと決して最高速の物ではないが、システムの拡張性等の柔軟性の点では現在得られる最良のものであると考えられる。今後は、大型プロジェクト「電子計算機相互運用データ・ベースシステム」で開発されているOSI対応のブロードバンドLANや光ファイバーによるバックボーンLANの接続が予定されている⁽⁵⁾。しかし、これら新しいLANの導入は、これまで構築してきたLANの価値を減ずるものではなく、むしろこれらと結合されることによって、より高度な統合されたLAN構築の基盤になると考えられる。

また、対外的な観点からも、すでに電総研情報部門のLANは、研究所内、研究所間、中央計算センターのLANとの高速な相互接続が実現されており、また一部の大学のLANとの間を中速ではあるが相互接続を実現した。低速なレベルでは、国内・海外の多くの機関との接続を完了している。このネットワークは、すでに高度で国際的な研究活動に不可欠なインフラストラクチャになってきていると言えよう。将来は、国内・外との高速通信により情報交換の即時性を高め、内外の研究協力のもっとも基本的な媒体として発展していくものと期待される。

最後に、電総研情報部門のローカルエリアネットワークの導入に御協力をいただいた情報処理研究用LAN検討委員会の棟上昭男ソフトウェア部長、植村俊亮（現東京農工大）、岡田義邦、国分明男、諏訪基、田村浩一郎、真野芳久、元吉文男、弓場敏嗣の各氏およびLANの構築と運用に日頃御協力頂いている菅原保雄、楠本博之、戸村哲、平木敬、比留川博久の各氏をはじめとする整備計画WGネットワークタスクグループの方々に厚く感謝いたします。

また、DEC SYSTEM-2060 の Chaos Net の立上げ時には、電電公社武蔵野通信研究所（当時）奥乃博氏に多大の協力をいただきました。遅ればせながら、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 研究用ローカルエリアネットワーク（LAN）—導入の必要性とその意義
情報処理研究用LAN検討会（1983年1月）（電総研内部資料）
- (2) 棟上昭男，米国のキャンパス・ネットワーク，電子工業月報，Vol. 27，No. 7，pp. 54-61（1985）
- (3) 異種プロトコルの混在を許す情報処理研究用ローカルエリアネットワーク，電総研ニュース，（1985年9月，428号）
- (4) B.W. Stuck, Calculating the Maximum Mean Data Rate in Local Area Networks, Computer, IEEE, Vol.16, No.5, pp.72-76（1983）
- (5) 棟上昭男，大型プロジェクト「電子計算機相互運用データベースシステムの研究開発」—開放的な分散システムの構築に向けて—，電子技術総合研究所彙報，Vol. 52，No. 2，pp. 272-296（1988）

Table 1 Traffics on ETL-CCIPR-CHAOS-LAN

転送されたパケット総数	:	1985万個
転送バイト数は	:	約9GB
ピークのパケット数	:	703パケット/秒
ピークの転送バイト数	:	566kB/秒
パケット充填率/1分	:	59% (最大) 39% (CLEAN-LAN)
パケット充填率/20分	:	30% (最大)
パケット長分布		
64バイト	:	50% (remote loginに起因)
1024バイト	:	25% (NFS等に起因)
上記の中間もの	:	25%

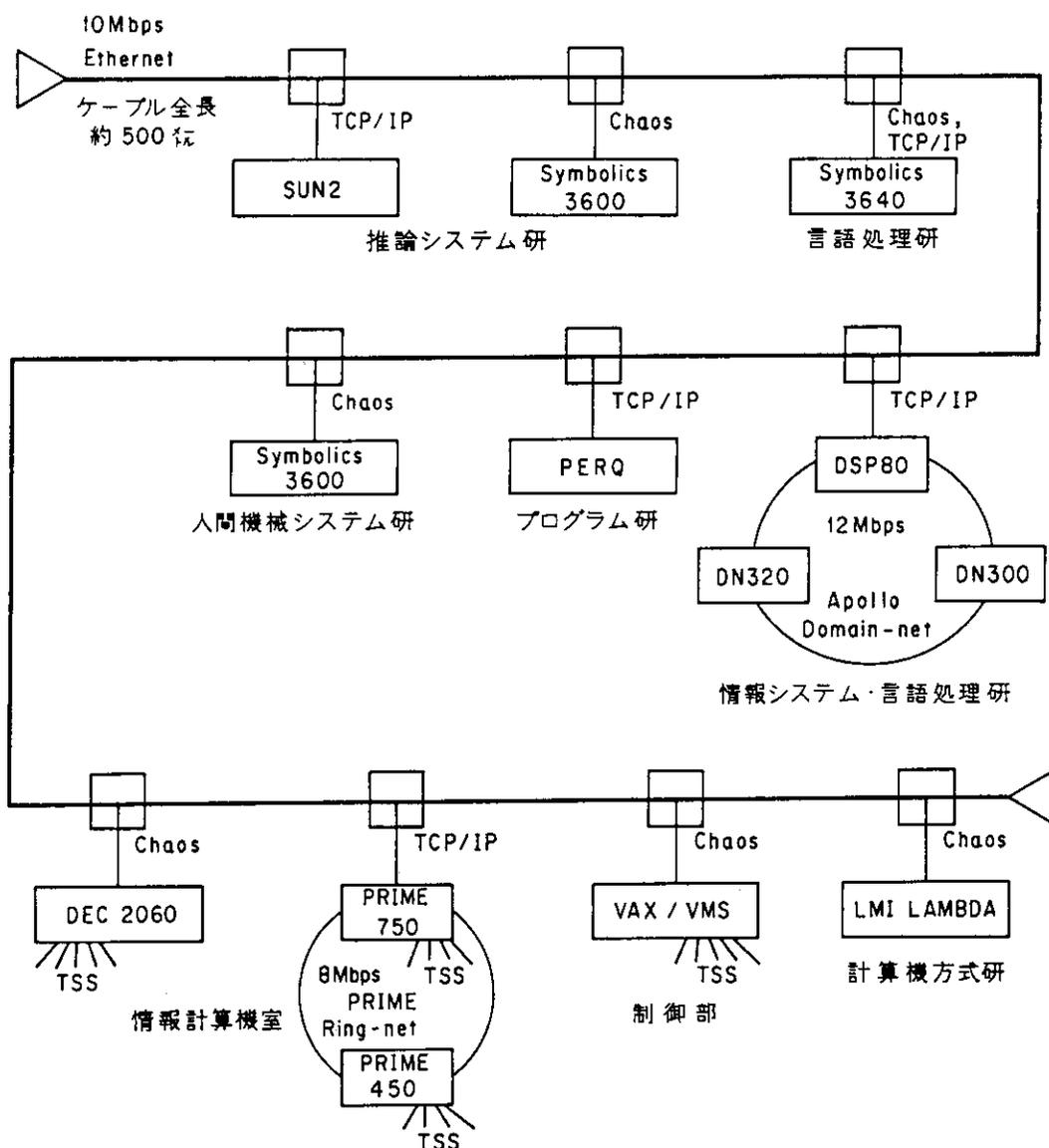


Fig. 1 An initial LAN connection at ETL (Sep-1985)

ETL-CCIPR-LAN

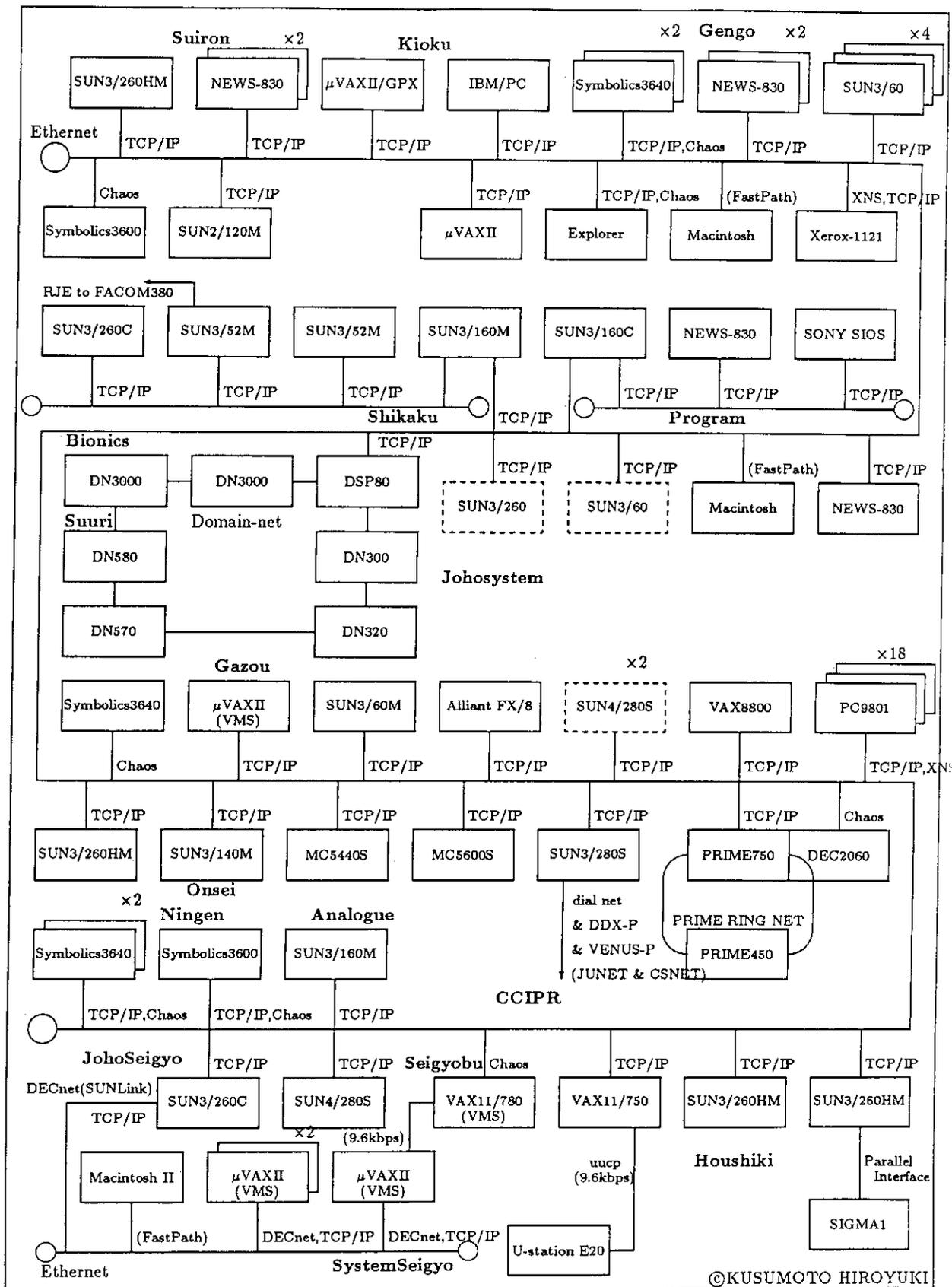


Fig. 2 A LAN connection at ETL (Jan-1988)

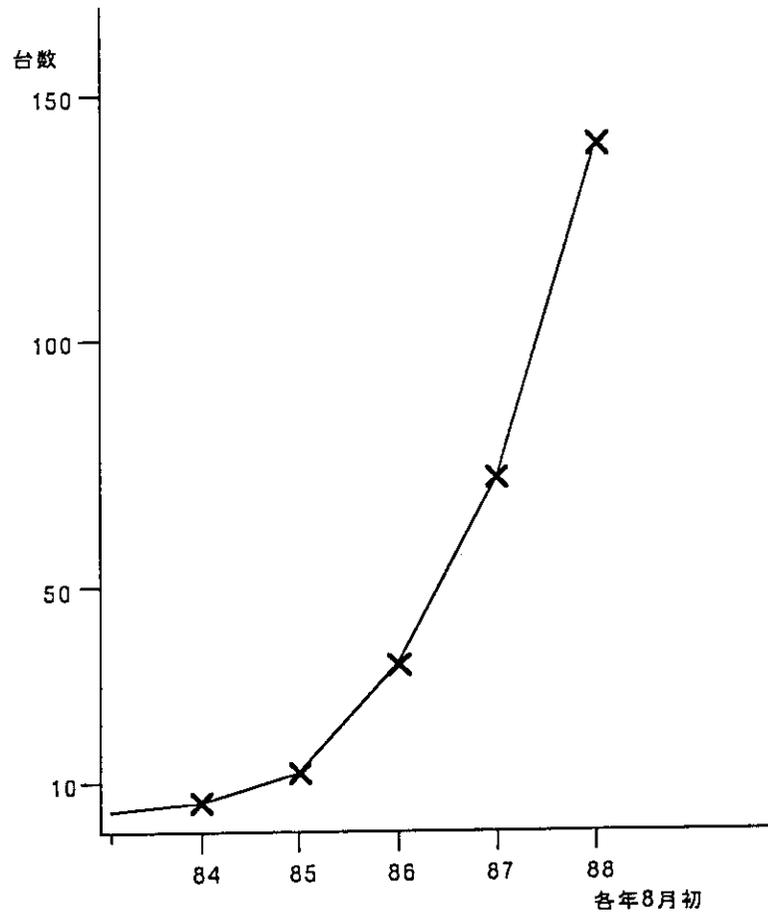
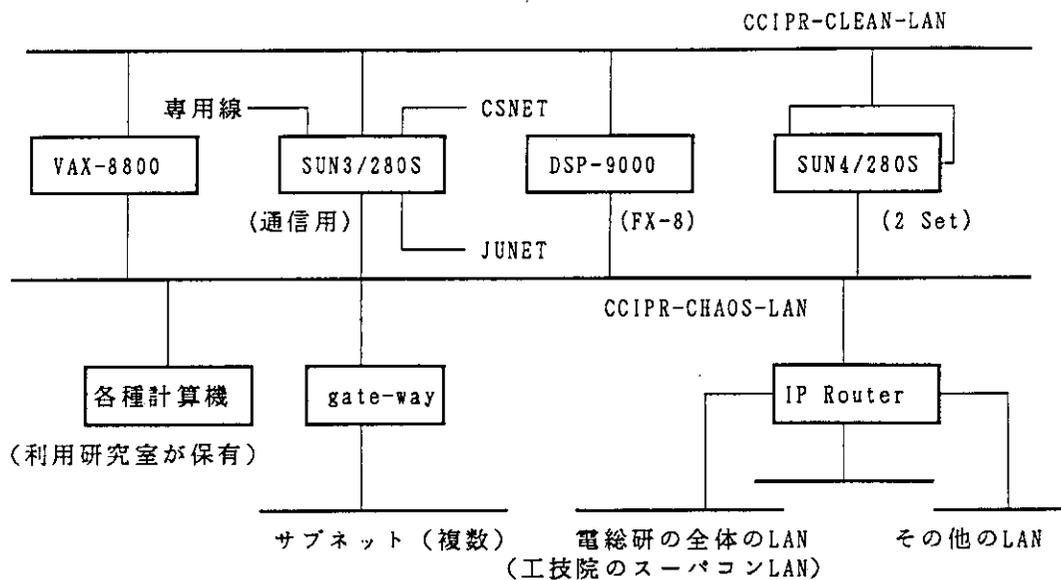


Fig. 3 A history of connected machines on ETL-LAN



注) CCIPRとは、情報共用計算機室の英文名の略称

Fig. 4 An outline of current LAN connection at ETL (Aug-1988)

3.2 大学における核融合研究のための計算機ネットワーク

阿部 芳彦 (名大プラズマ研)

プラズマ研究所電子計算機センターは、昭和52年度に大学における核融合・プラズマ物理研究のための全国共同利用の計算機センターとして発足した。全国共同利用の実を上げる為にネットワークの整備を重点的に行ってきた。その結果、主要な核融合研究機関・東北大学、筑波大学、京都大学（吉田地区、宇治地区）、大阪大学、広島大学にRJE端局を置くまでに発展してきた。そこで、ここでは

- ・ネットワークの現状
- ・主な利用内容
- ・現ネットワークの問題点

について報告する。またプラズマ研究所と米国ローレンス・リバモア研究所とを結ぶデータリンクエージの機能、現状についても報告する。更に今後のネットワーク整備の計画についても言及する。

Present Status of Computer Network at IPP

Yoshihiko ABE (IPP, Nagoya Univ)

In 1977, computer center was established to serve a common computer center in plasma physics, nuclear fusion research and its related fields in universities and its institutes. To achieve common use, computer center has given priority to arrange computer network. As the results, RJE stations are placed at major laboratories of fusion research i.e. Tohoku Univ., Tsukuba Univ., Kyoto Univ. (Yoshida campus and Uji campus), Osaka Univ. and Hiroshima Univ. . Today, it is recognized in general that a good computer network and powerfull computer system will be important more and more in this research field. In this paper, the followings will be reported

- ・ present status of the network,
- ・ main usage,
- ・ problems of the present network .

The functions and status of Data-Linkage which is connected with Lawrence Livermore Laboratories in USA, will be also reported. Moreover, a future plan of network will be also mensioned.

keywords(computer network, fusion research)

序 論

名古屋大学プラズマ研究所附属電子計算機センターは大学におけるプラズマ物理・核融合研究のための全国共同利用の計算機センターとして発足した。全国共同利用の観点からネットワークの整備に力を注いできた。ここでは、本センターのネットワーク整備の経緯と現状、問題点等について報告する。

本 論

1. 経 緯

名古屋大学プラズマ研究所計算機センターは、昭和 52 年度に大学におけるプラズマ物理・核融合研究のための全国共同利用の計算機センターとして発足した。以降今日まで、計算機センターは次の二つを重点的に整備してきた。

- ・高速・大容量計算機
- ・ネットワーク

前者の高速・大容量計算機については、この分野ではシミュレーションが重要な役割を担ってきたし、今後も益々重要な度を増すと考えられるので、そのニーズに応え得る計算機システムの整備を行ってきたし、今後も一層強化される必要があると考えている。現在の計算機システムの構成を図 1 に示す。

他方、核融合研究の推進には、広範な研究者の英知を集め、協力し合ってゆく必要がある事から、ネットワークの整備は計算機センター発足の直後から開始されてきた。

- 昭和 53 年度 大阪大学レーザー核融合研究センター (MELCOM COSMO 700)
- 昭和 54 年度 京都大学ヘリオトロン研究センター (PFU-1500)
- 昭和 56・2 広島大学核融合理論研究センター (HITAC 200 H)
- 昭和 57・10 筑波大学プラズマ科学研究センター (S-3300)
- 昭和 59 年度 日米データリンクエージ
- 昭和 60・3 大阪大学レーザー研 (A COS 950 N, SX-2) 48Kbps に変更
- 昭和 60・4 大学間ネットワークに加入
- 昭和 60・8 京都大学ヘリオトロン研 M-200 用増設
- 昭和 60・10 広島大学核融合理論研 (HITAC M-240 H) 384 Kbps に変更
- 昭和 61・5~7 京都大学理学部・工学部 (S-3300)
- 昭和 63・2 京都大学ヘリオトロン研 64 Kbps に変更
- 昭和 63・2 東北大学工学部 (M-360)
- 昭和 63・5 東京大学理学部・工学部

以下では、ネットワークを次の 3 階層に分類して報告する。

- ・国内ネットワーク
 - 独自のネットワーク

大学間ネットワーク

- ・国際ネットワーク
- ・所内ネットワーク

2. 国内ネットワーク（図2）

2.1 大阪大学レーザー核融合研究センター RJE（図3）

最初の RJE ステーションとして、昭和 53 年度に導入し、昭和 54 年 4 月から運用を開始した。当初は 4800 bps で始まり、55 年度には 9600 bps（D1 回線）にアップした。通信手順は RJE P4。比較的円滑に接続ができたが、1 つの計算結果の、例えば、翻訳リストと実行結果等が個別に出力される事、ジョブのセパレーターの扱い等で多くの手数を要した。機能として“RJE”しかなかったので、

- ・ファイルの作成・編集にも、バッチジョブで行う必要があった。
- ・ジョブの進行状況を知るには RJE コンソールによる以外になかった。

その上、ファイル転送の機能はなく、そのためのバッチジョブを投入する必要があった。そこで、昭和 56 年度には別の 9600 bps の回線を増設して、TSS の利用を可能にし、格段に使いやすくなった。現在から考えると満足できる水準にはかなりのギャップがあったが、利用者の熱意は相当なものでおおいに利用され、一時期には本センターの計算時間の数十%を利用して、利用の在り方が問題になった程である。そのような熱意の結果、昭和 59 年度には ACOS-950 N と SX-2 が導入されて、通信速度を 48 Kbps に向上する事になったがその際、プラズマ研・レーザー研の双方の要求を満足する通信手順が無く、レーザー研にリモート CCP を導入して、当面の要求を満たしたが、その後レーザー研で ACOS 上に“パススルー”の機能を作成して、レーザー研のほとんどの端末が本センターの画面編集可能な端末としても利用できる様になり、当初の仕様をほぼ満たす様になった。SX-2 の稼動と同時に、レーザー研からの利用は急速に減少して、翌 61 年度にはもとの 9600 bps 2 回線に縮小された。

2.2 京都大学ヘリオトロン研究センター RJE（図4）

昭和 54 年度には、ヘリオトロン研にも PFU-1500 の RJE が設置され、4800 bps で運用が開始された。レーザー研の場合と同様に、TSS が利用できないのは大変に不便なので、RJE と同時に TSS も使用できる様にした。具体的には分割モデムを利用して、9600 bps D1 回線の 7200 bps を PFU-1500 RJE に利用し、2400 bps を F9526 端末に利用した。従って、回線速度の問題はあったが、TSS によりデータセットの画面編集が可能になり、更に計算機システムのかなり詳しい状況が端末から得られる等、基本的にはプラズマ研から使用するのと大差の無い状況となった。もう一つの特徴は、PFU-1500 に接続された静電プリンター・プロッターに本センターで処理した結果を出力できる点であった。特に図形データは量が膨大になる事が多く、データの転送に大変に時間がかかる等、通信速度には多いに問題があったが、機能面では当時としては優れたものであった。その後、1 回線で分割モデムを利用する事無しに RJE と TSS を実現させている。

昭和 60 年度にはヘリオトロンの実験データ処理用に導入された M-200 が RJE として、9600 bps で接続された。これは主に大量の出力、特に NLP への図形出力を中心に利用されており、今年春には 64 Kbps に更新された。

2.3 広島大学核融合理論研究センター RJE (図 5)

昭和 55 年度に広島大学核融合理論研究センターが RJE を設置された。核融合理論研究センターに RJE を設置する予算と総合情報処理センターの予算が一本になったために、核融合理論研究センターとの接続は総合情報処理センター経由で行う必要が生じ、一方総合情報処理センターには HITAC M-200 H 等の機種が導入されていた。

京都大学との接続は富士通固有の FNA を利用していたために、同じ様な方式は採用できなかった。RJE と TSS の同時使用の観点から、N1 方式を採用した。接続そのものは比較的短時間でできたが、機能面では多くの問題を残し、その処理に後々まで多くの工数をさかなければならなかった。例えば、TSS では画面編集機能が利用できないので、ファイルの編集は広島大学のセンターで行い、編集されたファイルを一括ファイル転送する事が多く、ファイル転送に頼る事が多かった。しかし、ファイル転送機能は元の N1 には無く、N1 RJE を利用して利用者レベルで工夫して実現していたために、システムの変更の都度、大きな問題になっていた。この様に多いに技術的な問題があり、決して使い心地の良いものでは無かったであろうが、利用者側の熱意で多いに利用された。

その結果として、昭和 60 年度に核融合理論研究センターに HITAC M-240 H が導入され、より高速なファイル転送を実現する為に、384 Kbps の高速デジタル回線で接続した。384 Kbps のうちで、192 Kbps のファイル転送を行う事を目指したが、しかしそのような高速のファイル転送機能ができる両者共通の通信手順を見出す事ができず、やもうえずに、RJE 機能を利用した従来からの利用者レベルでのファイル転送で妥協せざるを得なかった。尚、M-240 H には 10GB のディスク装置とグラフィックディスプレイを備えており、本センターでのシミュレーション結果を M-240 H に転送して、データを蓄積・処理・表示等を行っている。最近ますます活発に利用されており、本センターの計算時間の 1/4 程度を占めるに致っており、多い時には 1/3 にも及ぶ事もある。192 Kbps でファイル転送してもなお出力ネックで、出張してきては、データを MT に入れて運搬する事もしばしば見られる。その様な状態なので、現在ほぼ常時通信回線にデータが流れている状況である。

2.4 他の RJE

筑波大学プラズマ科学研究センターは富士通の S-3300 を RJE として利用する等前述以外の RJE は全て富士通製で占められている。細部では若干の問題があり、また利用者が現在の RJE の機能・性能で満足しているかは疑問ではあるが、比較的技術的な問題は少ない。

3. 国内ネットワークの問題点

3.1 異なるメーカー機種間の接続

この十年間を振り返り、計算機の性能（M-190→M382，VP200，VP200E），メモリ容量（16MB→48+64+256MB）共に格段に向上し、計算の内容の質的な変化をもたらした。しかし、ネットワークに関しては、かなりの改善があったとはいえ、計算機本体の進歩に比べてはるかに遅い。同じメーカーの機種ならば、ある程度のレベルは確保できるが、異なるメーカーの機器の接続にかかる困難は十年前も今も殆ど変わり無いと言って良い。一時は異なるメーカー機種間の通信手順として、電々公社の“DCNA”に期待した事もあったが、その後の消息を知らない。そのうえにメーカーの動作保証が絡むので厄介このうえない状況である。仮にメーカーと相談しようと考えると、途端に極めて難しいテクニカルタームに悩まされる事になり、中途半端な知識では理解する事は容易ではない。

同じメーカーの機種であれば、問題が少ないと述べたが、相対的なもので、メーカーが同じであっても機種・OSの違いにより接続にはまだまだ多に問題がある。ましてや、利用者の望んでいる水準とは大きな開きがある。

3.2 制度的な問題

現在、本センターの場合にはRJEの設備およびその通信料はRJE側の負担としている。その為に、RJE側の各々の事情により、機種・回線種はそれぞれの機関が決定し、かつ機種とネットワークに対する制約の関係が分かり難いために、適当な機種を導入して実際に接続する段階で初めて制約が明らかになり、問題となる事が多い。

また、通信回線使用に関する業者との契約自体も他の物品の購入に比べて格段に面倒なもの、多に問題である。

3.3 運用の立場と利用者の立場の問題

我々、計算機センターの要員がメーカーの難しいテクニカルタームに悩まされるのと同様に、利用者はおそらく、彼等の“要望”が何故実現出来ないのか理解できない。とにかく、沢山言訳を聞かされるが、結局は何が本質的な困難なのか分からずに、不満だけが残る事も少なくない。

センターからは、各RJEが独自の機種・回線を使用するので、例えばファイル転送の方式でも様々で、開発効率が極めて低い。あるRJE用に開発した手法が利用できないからである。10年前に比べて、計算機の運転周りはずっと省力化できたが、それ以上にネットワークに人手がとられる現状である。

4. 大学間ネットワーク

主要な研究機関との間には、前述の様にRJEを設置している。しかし、比較的大きな研究機関だけではなく、少ない人数ではあっても貴重な研究をしているグループが散在している。その様な散在するグループに対しても、全て独自のネットワークで対応する事は非現実的である。そこ

で、独自のネットワークと合わせて、大学間ネットワークとも接続して、広い地域をカバーする事を目的にしている。しかし、大学間ネットワークに加入する際に、当面は東北大学、東京大学、(名古屋大学)、京都大学、九州大学に限られたために、より広い範囲をカバーする目的には十分には機能できない状況となっている。かつ、大学間ネットワークを使用した際の通信料の全てをプラズマ研が負担する事が大学間ネットワーク加入の条件になっているので、専門委員会の審査を経て、通信料の割当てを受ける必要があるなど、利用する上での制約が多い現状である。

5. 日米データリンクージ

5.1 経緯

計算機センター発足後、間もなく研究者間で日米間のコンピューターネットワークの構想が議論され始めた。様々な議論を経て、特に計算機時間の使用について議論され、名称も"データリンクージ"と変えて実現した(図6)。すなわち、一方的に日本が当時圧倒的な性能を誇っていたCRAYを使う為の手段では無く、あくまでも日米双方対等に寄与する事が確認されており、最も重要な原則となっている。具体的には昭和58年秋に最初の技術的な検討が始まり、翌年度にインプリメント、昭和60年度から運用を開始した。その中で、計算機に対する考え方、ネットワークの考え方に日米間に大きな隔たりがあり、後々ネットワークを考える上で、大いに参考になった。

5.2 機能

当初、我々はRJEとTSSの機能の実現を望んだが、米国側はメールシステムを最初に作るべきだと主張した。最後まで、RJEの必要性については理解が得られず、最終的には

- ・仮想端末機能
- ・ファイル転送機能
- ・リンクテスト機能
- ・コンソールリンク機能

とする事になった。下の二つの機能はセンターがこのシステムを維持するのに用いるものである。仮想端末機能にはテクトロの図形データも転送できる。また、日米双方合わせて同時に22端末まで動作できる。勿論、プラズマ研究所だけではなく、国内ネットワークで接続されているRJE等からも米国にアクセスでき、逆に米国のMFEネットワークから本センターをアクセス出来る。ファイル転送機能はテキストファイルだけでなく、バイナリーデータも転送できる。日本から米国、米国から日本に各々3本のパスがある。しかし、大きなファイルの転送要求がある可能性もあるので、ファイルの送受信の要求だけを受付けておき、後で実際の送受信を行う様になっている。その為に、ファイルの送信機能、受信機能と同時に状態の問い合わせ機能をもっている。

現在通信速度は9600 bpsであり、国内はDDX-PS、米国へはVENUS-P、米国国内はTYMNETを経由して、米国ローレンス・リバモア国立研究所の磁気核融合計算機センター(以降、NMFEC)と接続している。

5.3 利用の現状

実際の利用の状況は、端末機能はあまり利用されていない。使われるのは、例えば日本の研究者が米国に滞在する間、米国の計算機用にプログラムを書き換える時間の無い場合等に、米国から本センターの計算機を使用する様な場合である。または逆のケースもある。もっとも多く利用されているのは、メールの送受信である。但し、我々は独自のメールシステムを持ち、米国も独自のメールシステムであるために、相互にメールを交換する事ができない。その為に、米国の研究者にメールを送る場合には米国のメールシステムにメールを投函する必要がある。米国の研究者が日本の研究者にメールを送る場合は逆の形になる。たまたま筆者は NMFEC のアカウントコードも持つ為に、米国のメールボックスにメールが来ている事があるが、注意しないと数日にわたりメールを読まない事があり、先方に迷惑をかける事があるのは頭痛の種である。そこで、現在相互にメールを交換するシステムについて相談を始めている。

5.4 今後の課題

このデータリンクage を実現する為に独自の通信手順を決めて、実現している。メールの交換機能の実現を検討するなかで、国際標準の通信規約 OSI の採用について検討が進められている。その場合、他の機能も全て OSI で統一するのか等が今後の検討課題として、クローズアップしてきている。

6. 所内ネットワーク

6.1 実験装置との接続

計算機センター発足時から、実験装置と接続して、リアルタイムにデータを収集し、解析して、結果を実験場所に返送している。JIPPT-II 側には HITAC-10II が設置されており、RFC-XX には PDP-11 が設置されていた。計算機センターにはデータ処理用のミニコンとして U-400 (後に PFU-1500) が設置されており、U-400 (PFU-1500) を経由して各々の実験装置と接続していた。一応、長期にわたり使用されたが、転送速度が遅い、他の実験装置との接続が困難 (融通性に欠ける) 等から、現在ではラボステーション F7743 をノードにして、光ケーブル (FSL) で接続している。JIPP 側はマイクロ VAX を中心とした、CHS は PDP-11 を中心にした多数のパソコンを含む "LABNET" (技術室で開発) と FSL が F7743 を介して接続されている。

6.2 所内 LAN (図 7, 8)

今年の春、従来 TSS 端末機の中心的な機種であった F9526 を FM-R60HD に交換して、所内に DSLINK のケーブルをはりめぐらして接続を行った。現在、F6680 エミュレーターと FM-OASYS が最も多く利用されている。現在は垂直志向の接続になっているが、水平連携も取り入れるべく準備を進めている段階である。他社の製品の接続についても、検討を進めている。

端末変更の副作用として、端末機にフロッピーがついているために、フロッピーと大型計算機との間のファイル転送がよく利用される様になった。主な目的はデータ交換用で、日米間で研究

者がプログラムを持ち運ぶ際に、従来はほとんどMTを用いていたが、最近ではフロッピーが中心になっている。

7. 今後のネットワーク

7.1 ネットワークの役割の変化

これまでに作りあげてきたネットワークを振り返ってみた時、これまでネットワークに期待しているものと今後に期待しているものはかなり違う様に思われる。当初は“RJE”に表わされる様に、遠隔地から計算機を使用する手段として、構築されてきた。しかし、最近になって別のニーズが現われてきている。その例は、レーザー研で最初はレーザー研からプラズマ研の計算機を使用する手段であったが、今日レーザー研はすでにプラズマ研の計算機を使用する必要は無くなった。しかし、情報検索や、その他の目的でネットワークは有効に利用されている。現在、精力的に進められているLHSの検討でも、計算する事は勿論重要だが、プラズマ研とヘリオトロン研の間で研究情報の交換に積極的に利用されているし、報告書をまとめるために、ワープロの文章が相互に交換されている等はその典型であろうと思う。日米データリンクの役割も同様である。このようなニーズは当初の計算機の遠隔地からの利用と同等に、重要な地位を築き始めている。

7.2 今後のネットワーク・イメージ

そこで、今後のネットワークは、次の様なものが良いのではなかろうかと考えている。

- ネットワークは
 - 国際的なネットワーク
 - 国内ネットワーク
 - LAN
 で構成されている。使用する上では区別が無く、一つのネットワークとして機能する。管理上、相互の独立を守る必要がある、すなわち各機関は独自のLAN（中身はパソコンだけのものもあろうし、スーパーコンピューターを含むものもあろう）があり、独自の運用が保証される必要がある。
- 各機関のLANはある統一された規格により、国内ネットワーク等外部と接続されている。
- 現在はプラズマ研を中心にネットワークが構成されているが、全てを対等な形で結合する。従って、例えば他の大学の研究者がヘリオトロンの実験データに（アクセスが認められていれば）アクセスする様な使い方ができる。
- しかし、今後も計算時間は依然として重要な資源であろうから、適当な機関には十分な計算パワーの供給源がそなえられて、共用できる。

尚、LANについても

- ホスト計算機のメーカーに依存せずに、最適なWSが選択できる。
- LAN内部でも、研究者はWSを中心に仕事を進めてゆく。WSでは不足な資源をネットワ

ークを通じて供給する。例えば、計算パワーが不足する場合はスーパーコンピューターがパワーを提供し、奇麗に出力できるプリンターが必要であれば、プリンターを供給する。優れたワープロ機能が必要であれば、ワープロ機能を提供する。

結 論

プラズマ研究所計算機センターは、全国共同利用の実を上げるために、ネットワークの充実に力を入れてきた。その結果、計算機を使った研究成果の多くはネットワークに支えられてきたと言ってよかろう。しかし、現在のネットワークのレベルはまだまだ研究者の要求からは質的にも量的にも不足であるが、研究の成果を生み出す事ができたのは、研究者の熱意によるところが大である事も強調しておきたい。

今後もネットワークの重要さは益々増大するので、質的にも量的にも格段と優れたものに育てゆく必要がある。多くの課題がある中で、よりオープンなシステムづくりが特に急務であると考えている。

謝 辞

プラズマ研が（多分）来春、幕を閉じるに当り、本研究所の計算機センター専門委員会の場において原研を始め全国の先生方の御指導を賜り、ネットワークの充実を図る事ができた事を改めて感謝します。

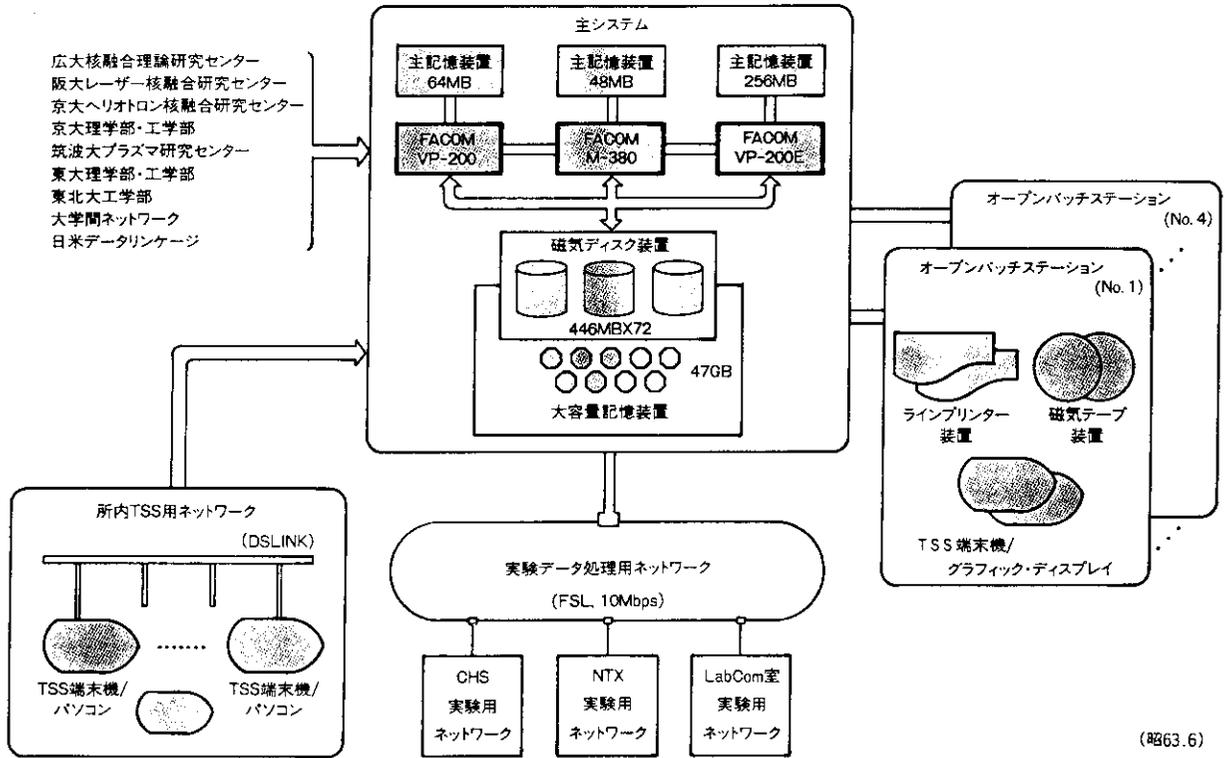


図1 プラズマ研究所 計算機センター



図2 独自の国内ネットワーク

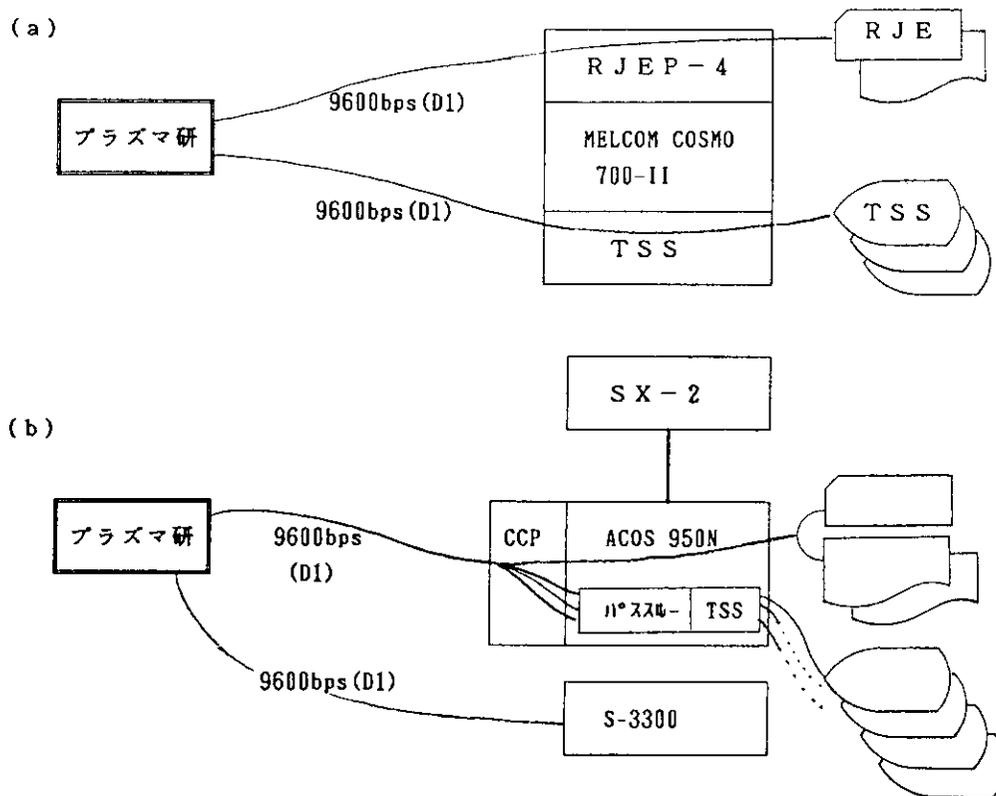


図3 大阪大学レーザー核融合研究センターRJE

(a) 昭和54年～60年

(b) 昭和60年～

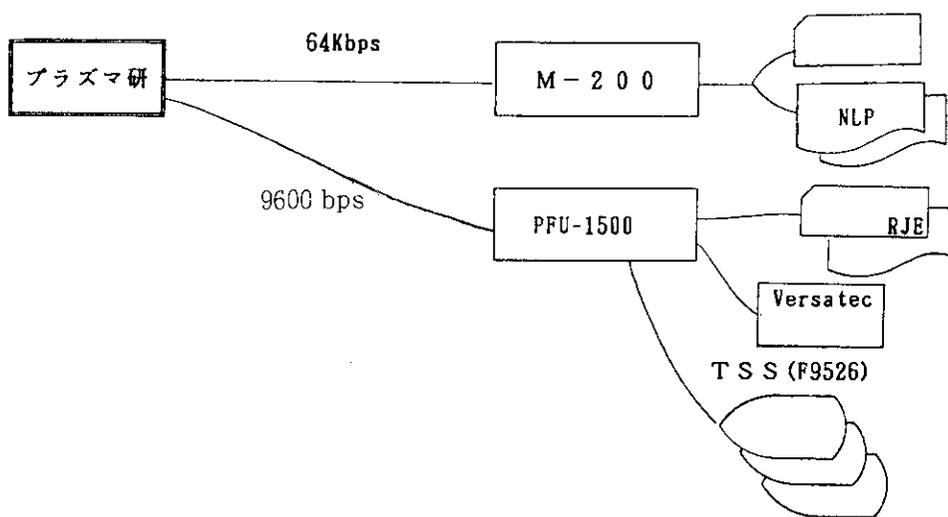


図4 京都大学ヘリオトロン核融合研究センターRJE

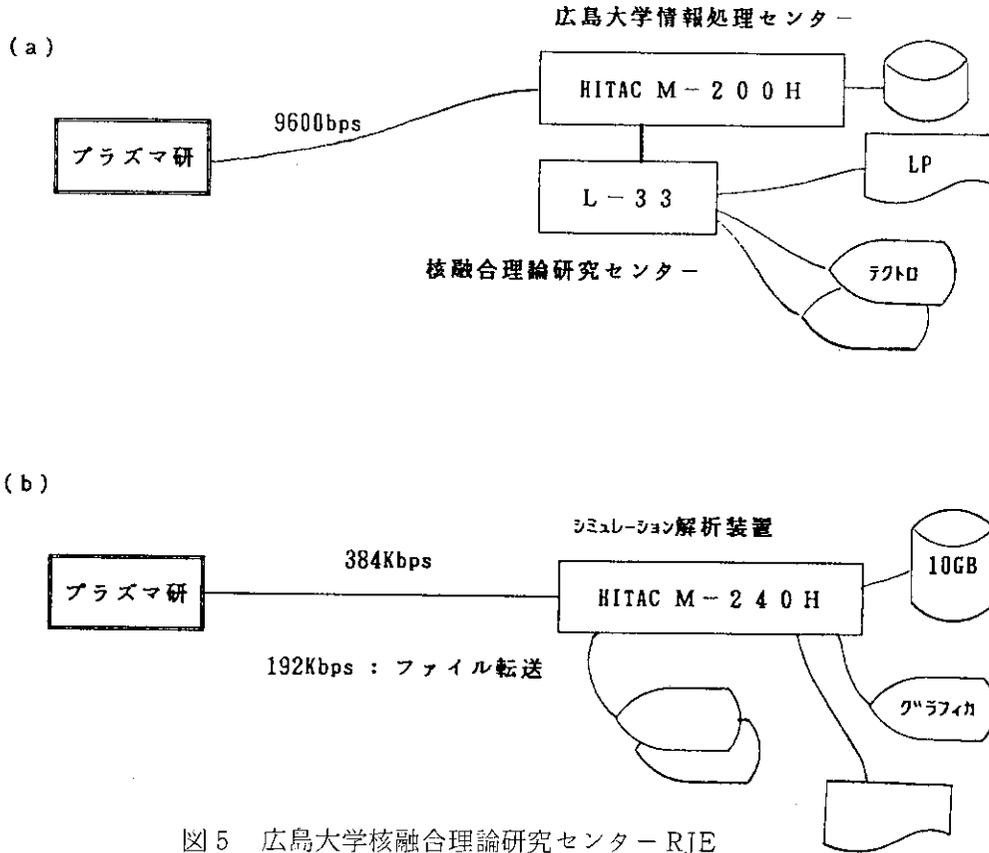


図5 広島大学核融合理論研究センターRJE

- (a) 昭和56年～60年
- (b) 昭和60年～

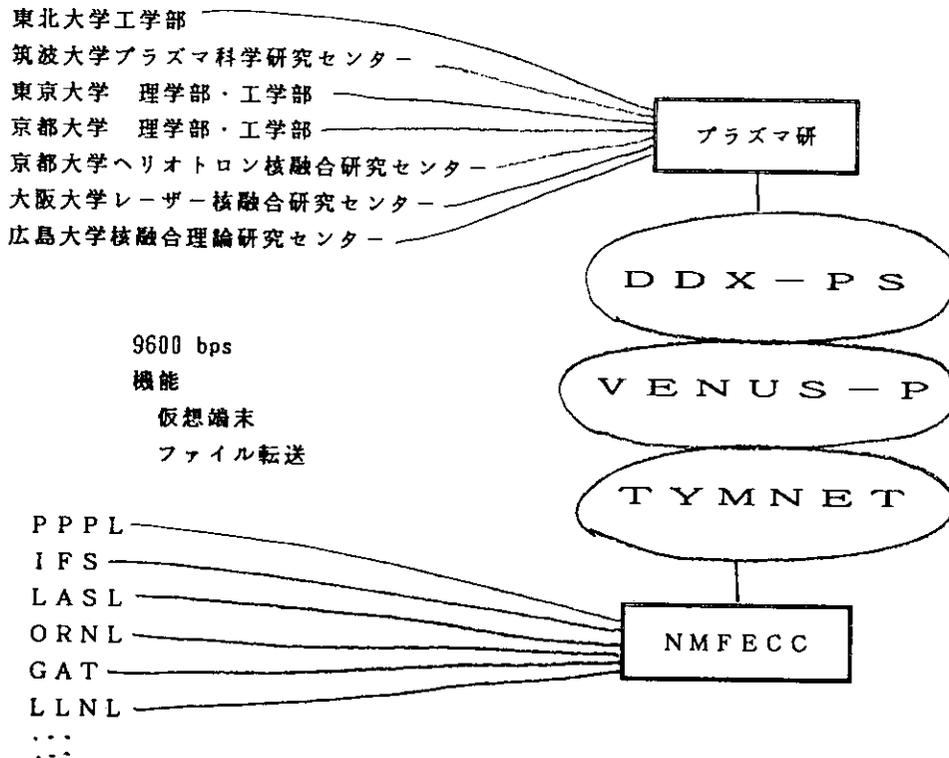


図6 日米データリンクージュ

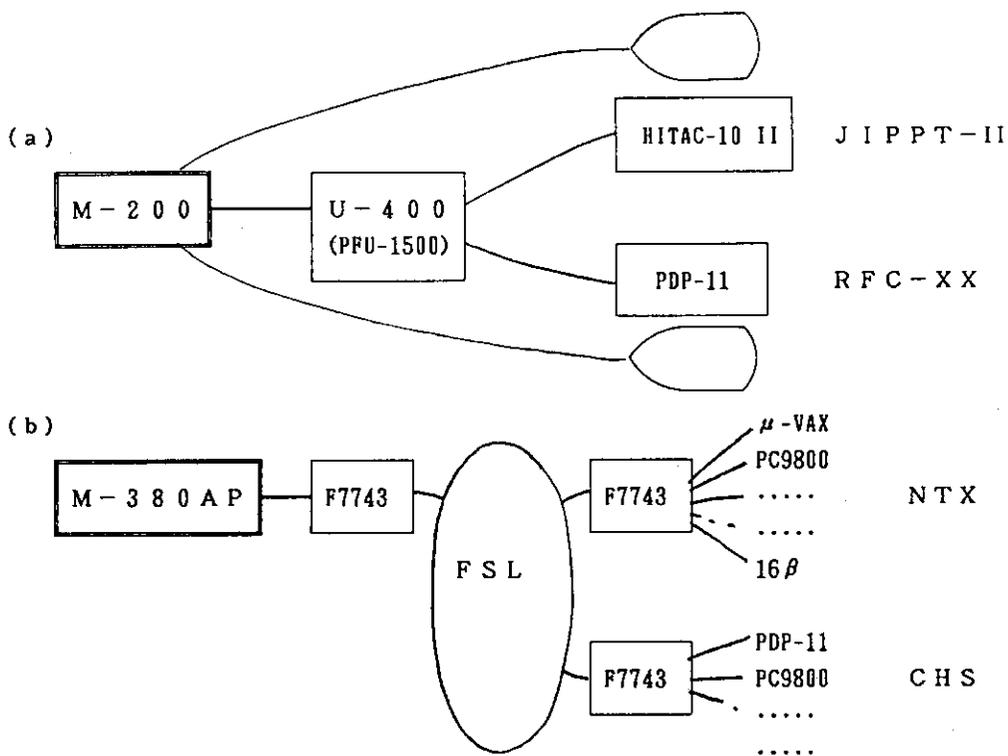


図7 所内データ処理用LAN

(a) ~昭和62年

(b) 昭和62年~

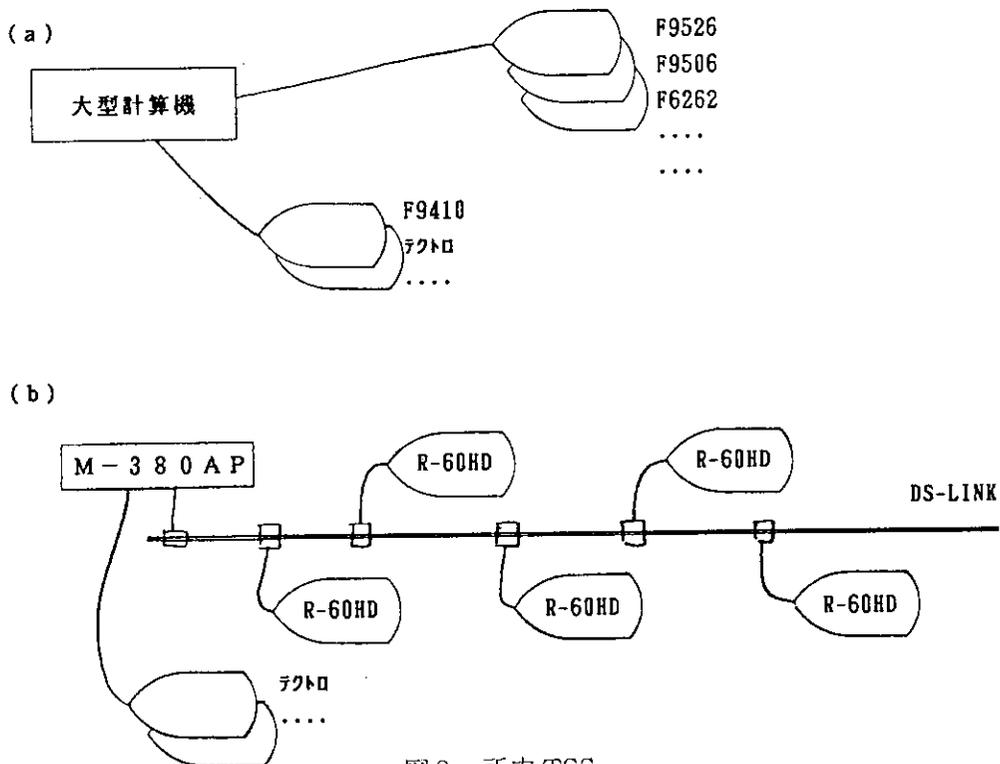


図8 所内TSS

(a) ~昭和63年

(b) 昭和63年~

3.3 LANを用いた実験機器予約システム

久保 正雄 (埼玉大学分析センター)

この機器予約システムは、学内共同利用機器の利用状況をリアルタイムに利用者へ伝えることと、機器の有効利用を計りセンターの円滑な管理運営を行なうため開発された。このシステムは、既設の回線網を利用し、パソコンをホストにしたハードと、予約管理BBSソフトを機能拡張したソフトからなる。

予約は2週間先まで行えるが、対話形式によるコマンドを選択する方式をとったので操作は簡単である。予約状況は全て画面に表示され、その際、既予約者があればその名前を知ることができる。またBBS機能の拡張により、利用者はセンターから各種のメッセージを受信できる。センターが、故障、保守管理等の理由で強制的に予約を解除した場合、解除された時間帯の予約者には、その理由と再予約の要請が自動的に送信される。このように本システムは、リアルタイムで利用者との対話を行えることが特徴である。

BOOKING SYSTEM OF ANALYTICAL INSTRUMENTS APPLIED with LAN

Masao Kubo (Chemical Analysis Center,
Saitama University)

Booking system applied with LAN was developed in order to transmit the availability of uses of analytical instruments which are available for the common uses. The system makes effective use of these instruments and brings out smooth control and management of the Center in our university.

The system is consists of the following hardware and software. 1. Hardware : internal PBX network, and a personal computer. 2. Software : the booking control and the expanded software function of BBS. Users are able to reserve the instruments for two weeks in advance, with simple operation as designed to select the command in dialogue mode. Display shows all booking data of the users. The user will obtain the information such as the names of other users who have already booked for that instrument. The user can receive various messages from the Center through the expanded BBS function as well. When the Center has to cancel the user's booking due to trouble and or maintenance of the instruments, the reasons of cancell and requests for the re-booking persons will be automatically informed to such users. Characteristics of this system can be said that the users are able to communicate with the Center in dialogue at real time.

Keywords (booking system, reservation system, BBS, LAN)

1. はじめに

分析センターは、学内共同利用機関として、昭和55年度に設立された。さらに昭和60年度には建物の新営もなった。これに伴い学内に分散して設置されていた共同利用機器を移転統合し集中管理することになった。機器を使用するに当たり、昭和55年度以前（共通機器委員会当時）から行なっていた予約制を継続した。また、新たに測定者認定制を施行した。測定するには予め講習を受講し測定者としてセンターに登録することである。登録された測定者とセンター間のコミュニケーションを活発にすること、機器の利用状況をセンター利用者にリアルタイムに伝えるため機器予約システムを導入した。

2. パソコンによる予約管理

2.1 オンライン予約管理システム

オンラインの予約管理システムといえば、1964年から稼働開始した国鉄（現JR）の「みどりの窓口」や同じ年に日本航空も稼働開始した座席予約管理システムがよく知られている。また、ホテルや旅館の予約などもよく知られている。これらはいずれも大規模なシステムであり、利用者の立場で端末に接する機会が多いが、技術的にシステムを理解するには複雑すぎる。ここで紹介する予約管理システムはパソコンをホストにした最も小規模な実験機器の予約管理システムである。

小規模なため取り扱う項目、すなわち実験機器の数には限度がある。しかしローコストでシステムを構成できるし、システムの変更が容易であるという利点がある。この利点を活用して、身近な実験機器、会議室、車両やOA機器など共同で使用するものはどれも予約システムの対象になる。

予約管理システムを導入するまで、予約管理は機器の利用者が使用予定表に記入する方法で管理されていた。利用者は予約のため使用予定表まで出かける必要があった。これが予約の変更の申告漏れや、取り消し等においてとかくトラブルの対象になった。

予定表は本質的に台帳なので複数のところには設置できない。利用者の配置が皆近くなれば良いが、ほとんどは分散している。よって予定表のところに出向くか、電話連絡で記入を依頼しなければならない。忙しいときは予定表のところへ出向くのはおっくうだし、代理人や電話での依頼はミスが発生し易い。また予定時間を直前で取り消した場合、他の利用者に連絡ができず、そのまま誰も使用しなくなり無駄が増える。

機器予約システムは、この種の利用者の不快の種になっているトラブルを解消し、設備を有効に活用し、さらにセンターの省力化にも貢献できる。

2.2 予約管理

予約管理では、まず利用者に予約する機器の使用可能状況をリアルタイムに知らせなければならない。これは機器の数やそれが移動可能かどうかで使用可能状況の表示法が異なる。予約後になんらかの理由で機器の使用を見合わせたり、予約の操作を誤ったりしたとき、取り消す機能が

必要である。また予約処理以外に、付帯処理として次のようなことが考えられる。第一に、機器の利用者を保守管理上制限することである。測定認定者のみに使用権が与えられる仕組みである。さらに、各機器ごとにその測定特徴から測定時間の最小単位を設定し、単位ごとの予約とした。これは1人の測定者が独占的に先行予約をするのを防ぐためである。第二には、センター側からみた場合、機器になんらかの不測の事態が生じた場合、故障や定期点検、消耗品の欠如等で強制的に予約を解除できることがある。解除理由は電子掲示板に示し、さらに電子掲示板を見てくれないことを予測して、これと同時に既予約者へ予約解除の理由等が自動的に届くようにした。これはBBSシステムの電子メール機能を活用し自動発信できるようにした。第三は測定者の管理である。これはすべてセンターが行なうことにした。その理由は、センターと利用者または利用者どうしがなんらかの連絡をとる必要が生じた場合を想定して、既予約者とその連絡先（内線番号）がわかるようにしたためである。

3. システムの構成

3.1 予約システムとBBS

BBSとは複数のコンピューターをつなぎ情報交換や交流を行う電子掲示板システム(Bulletin Board System)の略称である。駅の伝言板や郵便の電子化されたものである。このシステムと前述の予約管理を結合して分析センター機器予約システムを開発した。当初は電話1回線光ループ1回線と直接端末1台で稼働開始したが、現在は、電話4回線、光ループ2回線(Fig. 1)となり、センターとしては回線数による話中の問題が解消できたと考えている。

機器予約システムの機能は、五つの基本機能からメニューが構成されている。各機能の中にはさらに分類されておりBBSを実行するための命令が設けられている。

3.2 基本機能について

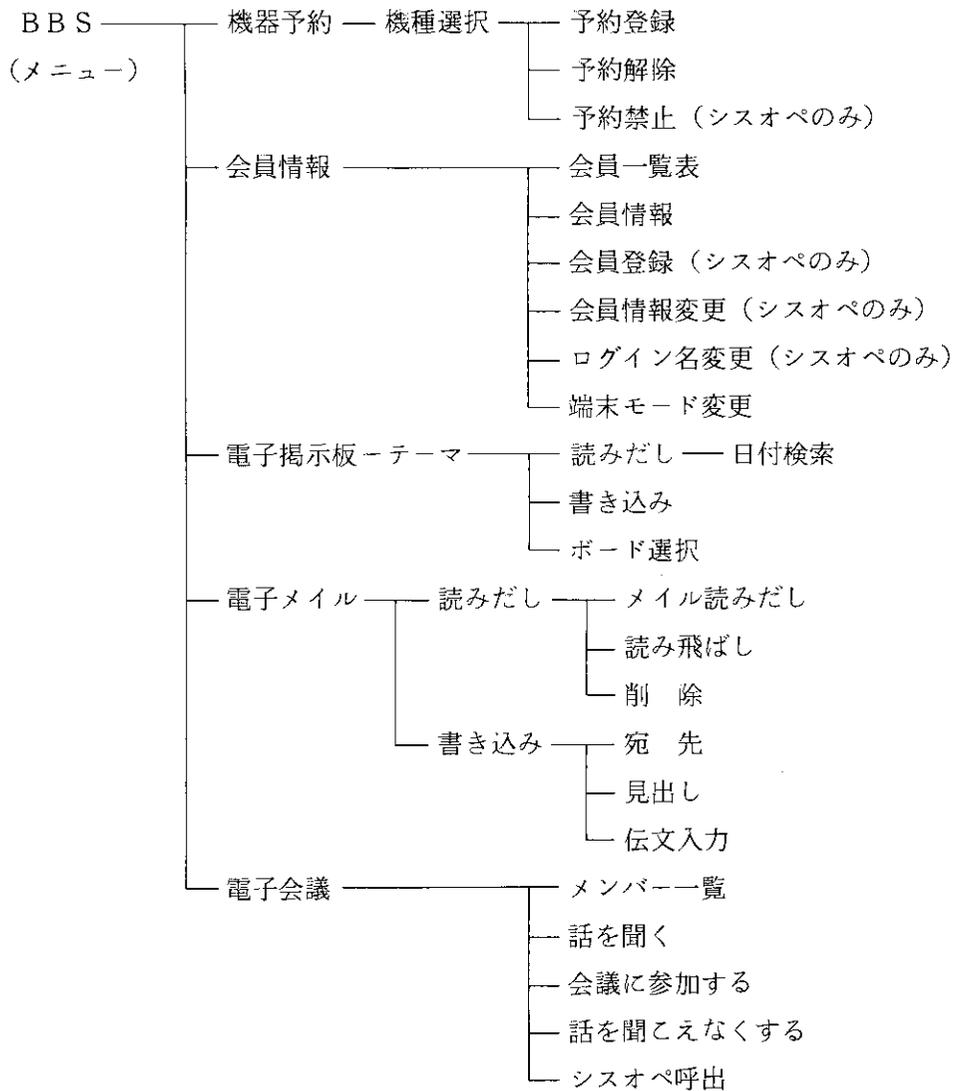
3.2.1 機器予約

機器や会議室等の予約管理を行う。予約の登録、解除、予約状況等すべてにリアルタイムに画面上(Fig. 2)で確認することができる。またセンターの都合で機器等の使用を禁止したときもシステム上ですばやく予約の禁止ができる。

3.2.2 会員情報

この機器予約システムでは測定認定者を会員として登録する会員制を取っており、会員を識別するためにID(会員番号)とパスワードを発行している。そのほか所属、測定認定機種、会員期間、連絡先(内線番号)、ログイン名等の個人情報を登録している。通常システムではログイン名は利用者が任意に変更できるが、本センターでは、連絡先とペアにして個人を特定しているため、シスオペ以外の会員は個人データの変更ができないシステムである。会員情報はBBSへの会員登録や他の会員の自己紹介、会員一覧表を見るとき選択する。

【Function of BBS】



3.2.3 電子掲示板

電子掲示板は、駅の伝言板や掲示板をオンライン化したもので、機器予約システム会員の誰もが読み書きできる。掲示板の中はテーマごと20枚に分類されており、それぞれ書き込みや他の会員の書いたものを見ることができる。また書き込んだ内容が増えたときのために日付による検索機能を備えている。

3.2.4 電子メール

電子掲示板がパブリックな情報交換の場であるのに対して、電子メールはプライベートな情報交換が行えるBBSを利用した手紙のやり取りの場である。BBSが郵便局や郵便受けの役割をしている。迅速に意志を伝達でき重要なものは保存することができる。特にこのシステムは、予約の強制解除が発生したとき自動的に、その理由等が伝達できる。

電子メール>R	88/10/21 21:07:43 ? R
分析センターからのお知らせ	
〔SCNMR〕の予約（88/10/22 09:00 - 13:00）は“装置故障”の理由で取り消 されました。改めて予約し直して下さい。	
メールを削除しましたか（YES）？ Y	
電子メール>E	

3.2.5 電子会議室

電子会議室は同時にBBSにアクセスしている会員どうしで話をするところである。会員同士が指定した時刻からアクセスし、その名の通り電子会議を開催できる。キーボードから入力したメッセージを他の会員に直接送信できる。電話と違って複数の人と同時に会話できる。又、話に参加せず話を聞くだけということもできる。

3.3 ハードウェアの基本構成

Fig. 1で示したように、回線が2種類存在しているLANである。両者でプロトコルが異なり、光ループネット（HITAC H-8644）は7ビットで、構内内線網（アナログ、クロスバ式）は、通常のパソコン通信の8ビットで構成されている。大学に設置されている光ループネットは、大型コンピュータと端末をTSS方式で結んだデータ通信専用になっており、この様な使い方をするのは稀だと思われる。また、内線網もデータ通信用には設計されておらず回線の品質はあまり満足できないが、ホスト側でモデムのゲインを調整することでクリアした。ホストパソコンは、PC9801VX2を用い20MBハードディスクを付け加えた。回線数はホストまでいれると合計8回線になる。これをコントロールするため、多回線コントローラとして、MAIL BOX（RMX-8200）を2台設置した。BBSソフトもこれらに合わせ回線のステータスを監視する多回線用に変更した。回線ステータスの監視は、ホストの負荷を削減するため大部分がMAIL BOXに機能を持たせている。

4. おわりに

現在、このMMN（マイクロマイクロネットワーク）の実験機器予約システムは、順調に稼働している。コンピュータのキーボードに不慣れなものをソフト設計で使用者の対照基準においたシステムである。分析センターが予約制と測定者認定制を施行しているため、予約機能だけは100%の使われ方である。残念ながら外の機能はまだまだ一方通行のようである。しかし10月1日より電子掲示板のメニューを大改革したところ急に使われるようになった。まだまだシスオペ側の努力も足りないようである。さらに使いやすくするため近いうちにバージョンアップも考えている。現在の使用言語は、BASIC（MS-DOS版）であるがバージョンアップではC言語になる。ターミナルソフトも新規なものを開発中である。

謝 辞

実験機器予約システムの開発導入に当たり、当初から積極的に協力をいただいた、株式会社ラデックスの開発部の方々にこの場を借りて御礼申し上げます。また、導入に際し、快く同意された分析センターの利用者の方々にも感謝する次第です。

文 献

- 1) 村田和信 : コミュニケーション・デザイン, 3, APR. (1986).
- 2) 村田和信 : ibid 3, AUG. (1986).
- 3) 村田和信 : ibid 4, APR. (1987).
- 4) The Mail Box マニュアル : 株式会社ラデックス
- 5) 統合光ループ伝送システム H-8644 マニュアル : 日立製作所

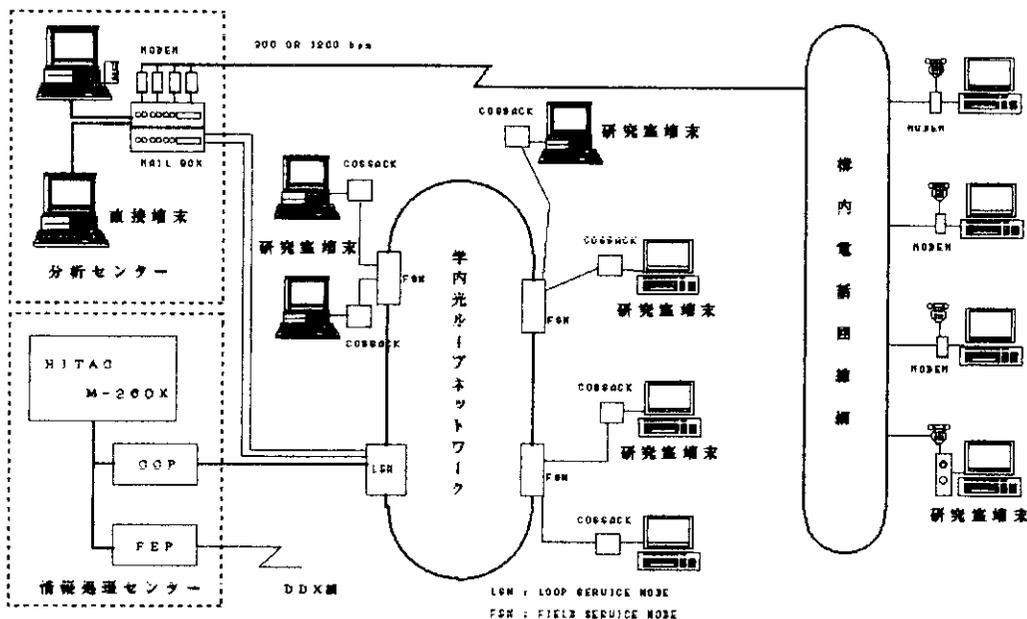


Fig.1 Outline of Booking System

```

** SCNMR 予約状況 **                ( *:予約済 @:予約登録 A-D:予約禁止 )
mm/dd( w ) 8..9..10..11..12..13..14..15..16..17..18..19..20..21..22..23..0..
10/13(Thu) *****DDDDDDDDDBBB *****
10/14(Fri)  . *****
10/15(Sat) *****
10/16(Sun) AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
10/17(Mon)  . *****
10/18(Tue)  . *****
10/19(Wed)  . *****
10/20(Thu)  . *****BBBBBBB *****
10/21(Fri) *****
10/22(Sat)  . *****
10/23(Sun) AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
10/24(Mon)  . *****
10/25(Tue)  . *****
10/26(Wed)  . *****
=== A(1):休館日 B(2):定期点検 C(3):装置故障 D(4):センター予約 ===
予約登録 (R) ですか、解除 (C) ですか、禁止 (n) ですか？ R
予約開始日と時刻([yy/]mm/dd hh:mm,[yy/]mm/dd N[IGHT])を入力して下さい。
    
```

Fig.2 A Display of Booking(SYS. OP.) * : Others Booking, @ : Rogin Person's

3.4 研究環境とBITNET

広瀬 健 (早大, 情報科学研究教育センター)

1. BITNET

BITNETは、大学および非営利の研究所を対象とするネットワークであり、その名前は“Because It's Time”に由来する。方式は、IBMのRSCS（リモートスプーリング通信サブシステム）のプロトコルを用い、各ノードは専用線（主として9600 bps）で結ばれている。プロトコルからもわかるように、このネットワークはIBMのマシンを中心に大きくなってきているが、いろいろな大学でRSCSのエミュレータが開発されており、日本でもDEC、富士通のマシンなどがノードになっている。

BITNETは1981年にCUNY（City University of New York）とYALE大学を結んだことに始まるが、そもそもCUNYの17におよぶ分校を結ぶ事務的用途から始まったという。1984年の2月にはヨーロッパに、同年9月にはカナダにと、このネットワークは拡大をつづけ、1985年には日本にまでおよんだ。

現在（1988年10月）の日本国内での状況は図1の通りであり、世界では30ヶ国で約950の大学・研究所に拡っており、そのノード数は約2,300である。

2. 現在のBITNETの機能

ネットワークの存在意義は、その古くからの用途である

(i) 情報の共有手段

から、

(ii) 新しい通信手段

として用いられるようになっており、さらに

(iii) 新しいトランザクション処理の手段

にも進んできている。

そのために現在、用意されている機能は、

(a) ファイルの転送

(b) 遠距離ログイン

(c) データベース・アクセス

(d) 電子メール

(e) 電子掲示板

等々であるが、BITNETで用意されているのは、表1のような機能である。

表1 BITNETの機能とコマンド

機 能	コマンド
電話的通信	TELL
電報的通信	NOTE
手紙的通信	SFILE
発信先制御	NAMES
着信点検	RDRL

3. 研究環境における通信機能

早稲田大学の情報科学研究教育センターは、各学部各学科とは独立に、全学の研究者・学生に対し、計算環境、通信環境、共同研究の「場」の提供、情報処理に関わるコンサルテーション、学生に対する入門的教育などを行う組織である。

そこでのハードウェア環境は、IBM3090/200, 3081/KX3を中心とするIBM系システム、十数台のイーサネットで結ばれたDEC系システム、東大大型センターと専用線で結ばれたHITAC 640/10などのシステム、様々な会社のワークステーション、富士通のLISP専用機等であるが、これらは、いずれもWINS (Waseda Integrated Network System) で結ばれており、学外のネットワークとは、BITNETとJUNET (Japanese Universities Network) によって結ばれている。

現在でもBITNETの利用は盛んであるが、今後の通信機能の役割はますます増大することは確かであろう。

コンピュータとは無縁でいた研究者も、研究環境のOA化により、無関心ではいられなくなっている。

ワープロはもとより、論文が発表前にデータベースに入れられ、そこで訂正なども行われ、必要な場所に転送される、ということもすでに始まっている。

デスクトップ・パブリッシングの実用もすでに目前といえよう。計算センターの提供していた汎用大型機的环境も大きく変りつつある。

今後は、汎用大型機が、スーパーコンピュータ、データベース・マシン、そして各種のワークステーションに置き換えられてゆくであろう。ワークステーションは各研究室単位で導入されることになり、必然的に多様化し、分散化する。

そして、各研究室からのデータベース・アクセス (図書館や外部情報へのゲートウェイ) や外部ネットワークへのゲートウェイが重要な役割を果すようになる。

計算センター等の役割は、スーパーコンピュータ等の導入・管理などの古典的なもの以外に、各種ネットワークの管理が加わり、広義の情報処理に関わる知識の中心として存在しなくてはならない。

現在のBITNET等のネットワークは、その過渡期の状態であると認識すべきである。

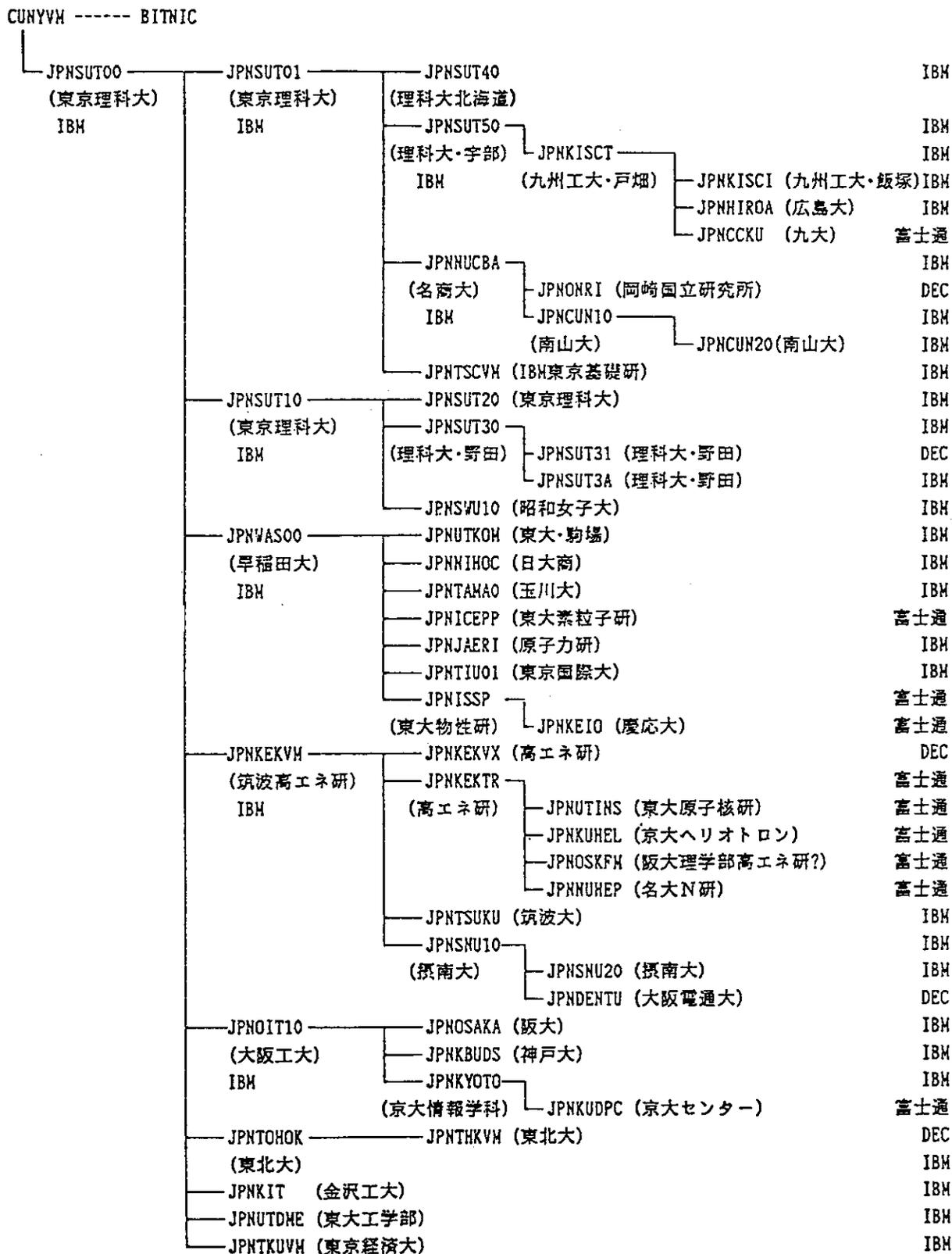


図1 BITNET (日本) 接続図

4. パネルディスカッション 原子力分野におけるネットワークの利用 (現状と今後への期待)

4.1 原子力関係者のためのネットワーク

岩田修一（東京大学）

以下の趣旨で原子力学会に研究専門委員会を設立した。

科学技術の進歩にとっては、個々の専門的分野に深く沈潜してゆくことも重要であるが、有用な個別的成果を相補に活用してゆくことの重要性は、原子力分野において幾度となく言及され、再確認されてきた。したがってデータ・知識の共有においても、INIS、核データファイルなどの文献や基礎データのデータベースにおいては各々の専門分野において以前より不可欠の“ツール”として活用されてきた。しかしながらデータベース、知識ベース、スーパーコンピュータ、計算機ネットワークと、情報の高度利用のためのインフラストラクチャーの充実は急で、かつては情報処理の専門家の業務であったものが、各々の研究者によって容易に利用され、個人用のデータベース、知識ベースも簡単に構築できるようになってきた。こうした情報処理技術の普及と利用者層の拡大は、交換フォーマットの標準化、知的ゲートウェイの構築、コンピュータグラフィックスの活用などへの要請となって現れている。本研究専門委員会の目的はますます高度化・多様化しつつある原子力関連の知的資源を活用するための方策を評価検討し、計算機ネットワークを中心とするインフラストラクチャーの仕様を提示することにある。

研究活動項目としては、(1)計算機ネットワークに関するニーズの検討、(2)データベース、知識ベース、計算コードの共用、交換に関する技術的検討、(3)知的ゲートウェイに関する検討を予定している。

パネルでは、今後への展望について私見を述べる。

Utilization of Computer Networks for Nuclear Applications

Shuichi IWATA (University of Tokyo)

A research committee for "Utilization of Computer Networks for Nuclear Applications" is made in the Atomic Energy Society of Japan to specify an environment for information sharing and exchange. A pipe dream of the author on this research is introduced for discussion.

4.2 原子力ネットワークを使って21世紀の原子炉概念を進化させよう

中 沢 正 治 (東大・工)

(要旨)

生産革命と呼ばれるCAD/CAM/CAEシステムを原子力分野に導入する場合、原子力システムが巨大であるため、原子力界全体の情報ネットワーク上に、このCAEを構築することが必要であるとコメントした。

Evolution of Next Generation Reactor Concept
on Computer Network System

M.Nakazawa (Univ. of Tokyo)

(Abstract)

My comment is how to apply the CAD/CAM/CAE system to our nuclear engineering field and my point is that the computer network system is essential in this application because our field is very wide and complex system through the industries, laboratories, universities and governments.

(Keywords) Computer Network, Reactor Concept, CAD, CAM, CAE

1. 緒言

ソニーや日産自動車のCAD/CAMセンターを見学する機会があり、次世代の生産革命はこのように進行中なのかという想いを強くした。そこには、従来の工学で必須とされた製図用の机がきれいさっぱりと消えており、すべて計算機の中に入っているという。一瞬あの苦手であった製図のことを思い出していた。CRT画面上で図面の修正をすると、それが数値制御機械で自動的に工作・製造されるというのである。ともかく、図面書きとか機械工作とかがきれいに無くなっていたのである。

もちろん、原子力分野でもCAE化が進行中であり、見学させていただいたのであるが、期待していた割には何かもう一步、波及効果が充分とはいえないということを感じずにはいられなかった。それがどうしてなのかを考えてみたのが本コメントの趣旨である。

2. CAD/CAM/CAEとは？

CAE (Computer Aided Engineering) による、新製品の設計開発プロセスを従来のプロセスと比較したものが、図1である。従来の方法では、(図の上段)、概略の設計計算をやって試作品を作り、性能評価後、最初の段階に戻すというやり方であった。これに対しCAEによるアプローチ(下段)では、コンピュータ上に図面を作り、シミュレーション計算で性能評価を行い、殆ど完成品に近くまでブラッシュアップしてから試作品を作り最終試験という手順になる。両者の手法を比較するとCAEアプローチに多くの利点があることは明白である。開発期間、マンパワー、コストの減少、しかも性能向上の可能性が大きいというので、これから生産革命の嵐の時代に入りつつあり、この競争に負けると企業は衰退必至とのことである。

特に電気・家電メーカ、自動車産業等がこの方面で先端的であるとのことで見学に行くときまにその通りで(図2参照)、理想的な意味では計算機とソフトで物を作り上げるプロセスがどんどん進行中である。ソニーでは従来のドラフトマンをいかに端末の前に座らせるかの苦労話、又、ある時、停電でCAEが使用できなかったとき、旧来のドラフト技術を持つ課長氏が引っ張り出されて図面書きに奮戦した話などを伺うことができた。

原子力のCAD/CAMセンターやCAEセンターを訪問すると、原子炉配管の自動設計とか機器配置自動設計システムなどを拝見することができる。従来、配管設計は1時間で1メートルしか進まないといわれており、合計で150万人・時間かかっていたが、これを現在2.5倍に速くできたこと、将来5-7倍位までに速くしたいなどの話を伺うことができた。

そして、原子力分野のCAD/CAM/CAEを見ると、殆ど技術レベル的には他産業と同じレベルかそれ以上なのに、何か物足りなさを感じつつ見学を終えるのが普通であった。その理由をいろいろ考えてみると、次のような2つのことを思いついた。

①電気産業や自動車産業が、CAEを使って製品の開発期間やコスト、マンパワーが節約され、それを設計上のゆとりに使っているというのを聞くと、より先端的であるべき原子力分野からそのような表現が聞こえないのはどうしてかと、半ば身内意識や偏見を混えつつ感じてしまうせいかもしれない。

②原子力開発システムは巨大なので、現行のような部分的な CAD/CAM/CAE システムでは、原理的に不十分であり、それが電気産業や自動車産業との製品規模上の差になっている。電気製品や自動車と同じようなレベルになるには、原子力界全体の情報流通システムをまず構成し、その上に CAD/CAM/CAE を作らないと同等の働きをしないのであろう。

3. 原子力ネットワークへの期待

ソニーや日産では、CAD/CAM/CAE によって短縮された製品開発期間をすぐに製品コストダウンに結びつけることはせず、より多くの設計概念の検討や性能向上等の探求などの技術的蓄積に使っているという。日産ではそれを“人に優しい車づくり”と称している。

原子炉の設計研究では多くのデータベースとシミュレーション計算が必要であることは衆知である。これらをすべて自社内でまかなうのではなく、多くのメーカ、研究所、大学等が協力してサポートし合う時代に入りつつあると思われる。多くのシミュレーションコードやデータベースを共通のネットワーク上に準備し、多くの方々が自分のアイデアに基づく原子炉概念を、そのネットワーク上で試作し、可能なら運転してみるということは夢であろうか？ 21世紀の原子力をそのような基盤の上に成長させたいと願う次第である。

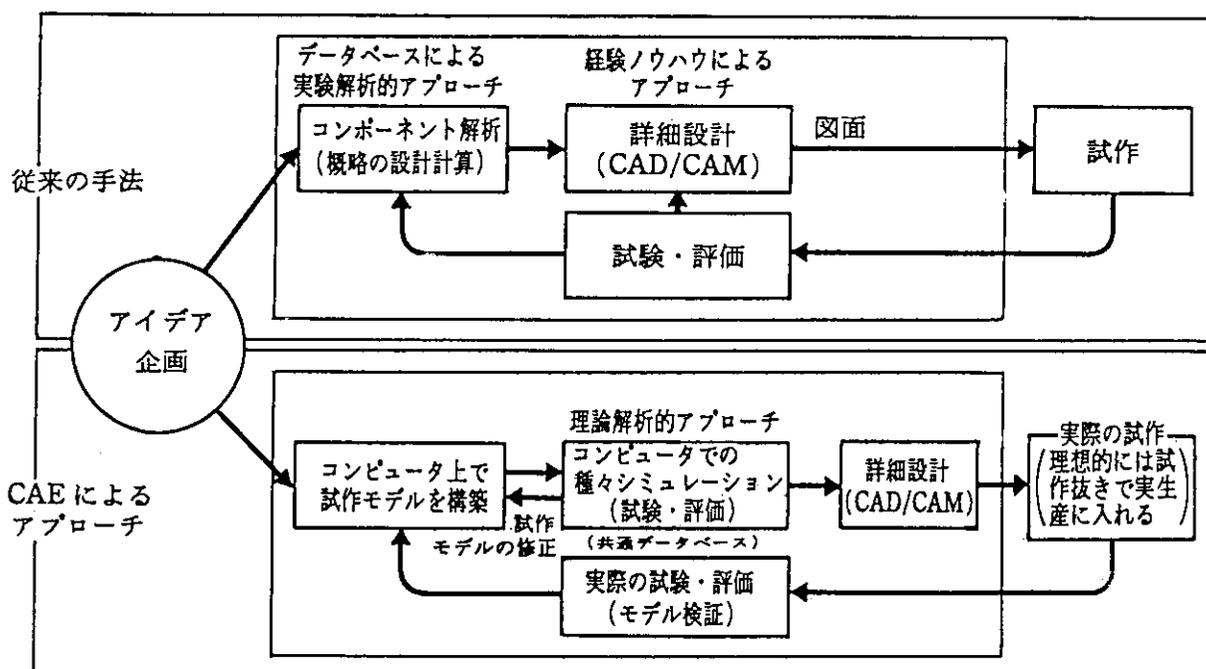


図1 CAEによる新製品開発プロセス

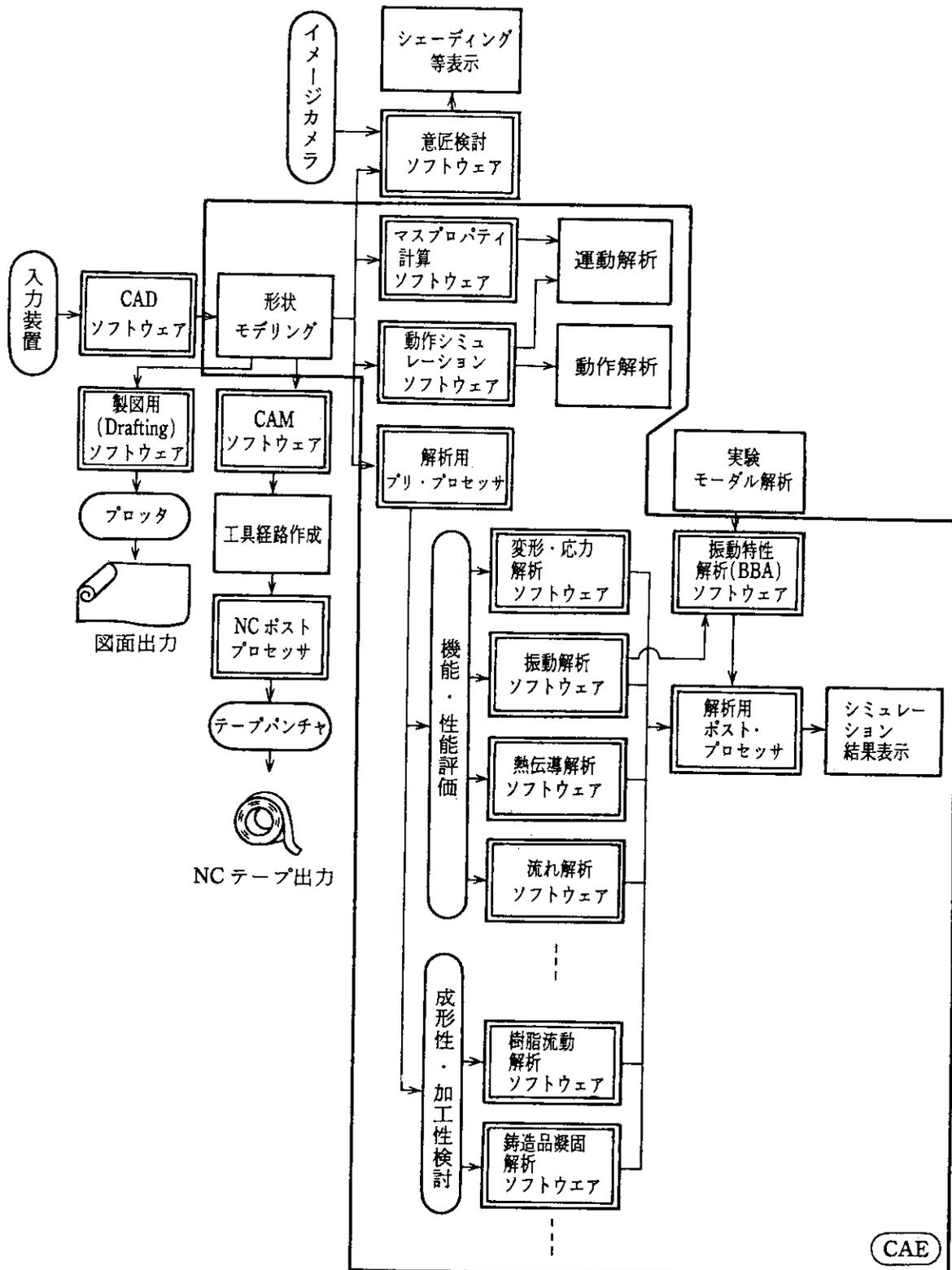


図2 CAD, CAM, CAEの内容とその関連

4.3 原子力分野におけるネットワークの利用 【原子力コードの利用等】

山野直樹 住友原子力工業 ㈱

原子力に関する公開ソフトウェア（計算コード・データ）利用の現状と問題点について述べると共に、ネットワークを利用した例を参考にして、ネットワークを利用した例を参考にして、ネットワークを利用した場合、どのようなメリット・デメリットがあるかを議論する。

コンピュータセンターがネットワーク化された場合、将来起ると思われる変化と対応について考察し、検討すべき事項についての提言をまとめた。

Utilization of Computer Network for Nuclear Society [Utilization of Nuclear Design Codes]

Naoki YAMANO
(Sumitomo Atomic Energy Industries, Ltd.)

The status and problems of utilization for unclassified nuclear design codes are reviewed. The merits and demerits in utilizing computer network are discussed by using a sample case with the computer network.

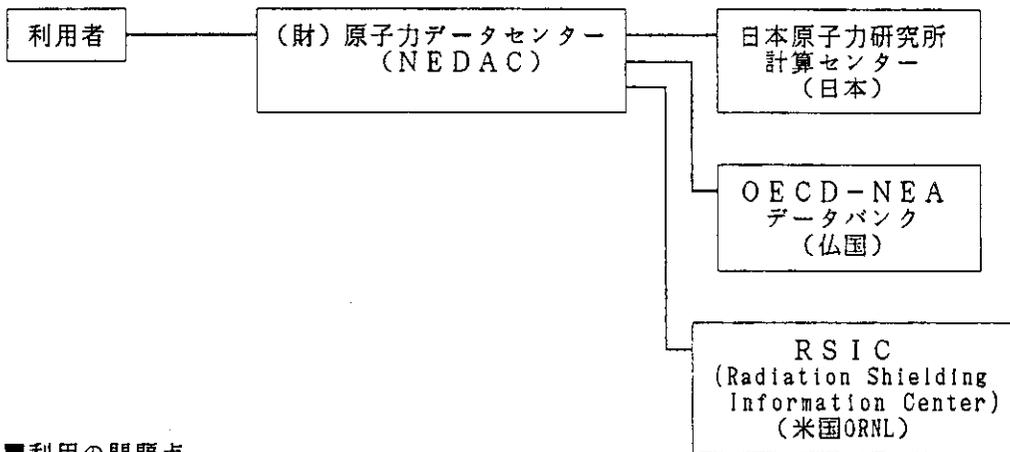
The changes and the counterplan are discussed when a computer center enters a computer network. Some pertinent suggestions are made regarding as to computer networks.

keywords (computer network, nuclear code)

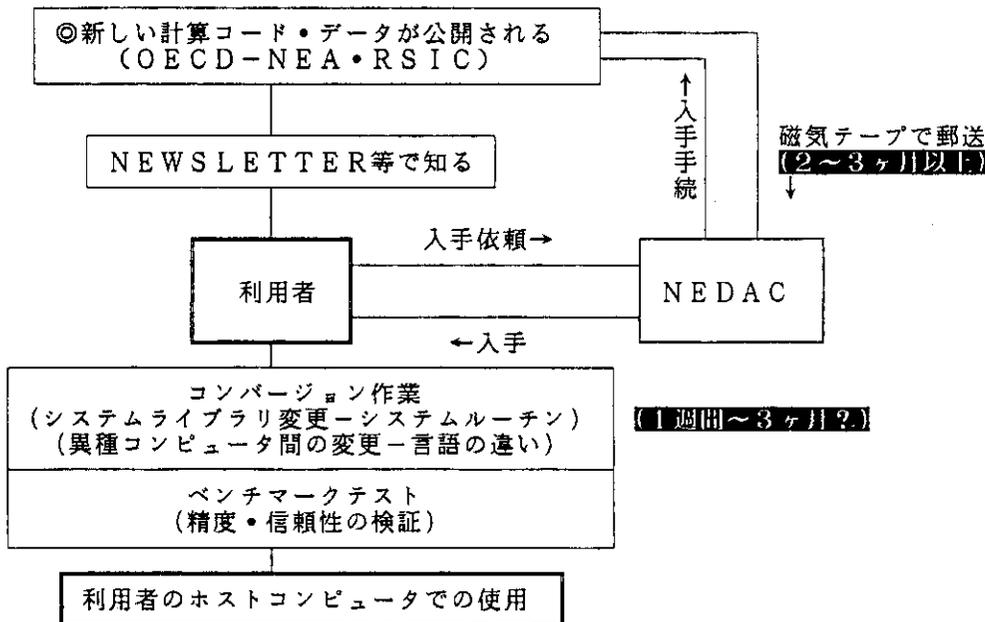
1. 原子力分野におけるネットワークの利用〔原子力コードの利用等〕

原子力に関する設計、解析コード・データのうち、公開されている原子力コードおよびデータは(財)原子力データセンター(NEDAC)より入手可能である。日本で開発されたもの、あるいは外国で開発されたもので、すでにNEDACが入手しているものについては、比較的短期間で入手できるが、新しく公開された原子力コードについては下図に示すように入手するまでの時間が2~3ヶ月以上になる場合が多い。また、入手した原子力コードを利用者のホストコンピュータで使用するためには、システムライブラリの変更、処理言語の機能の差異を修正するなどのコンバージョン作業を行う必要がある。

■原子力公開コード・データ利用の現状



■利用の問題点



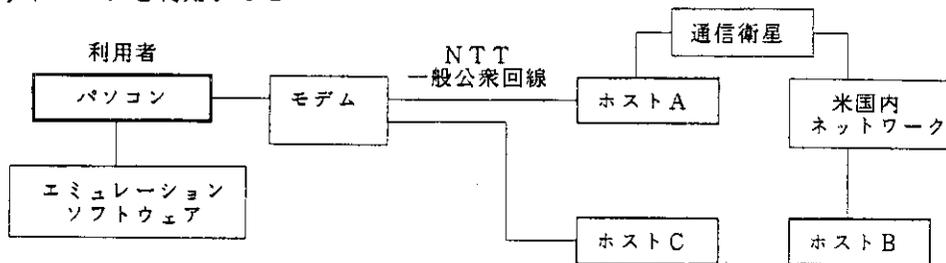
このように、現状では公開コードの利用に際して、新しい信頼性のあるコード、データの利用が遅れてしまうと言う問題点がある。場合にもよるが、日進月歩の分野では、この遅れによって研究競争に負けると言った結果が生じるかもしれない。

2. ネットワークの利用

前節で述べた問題点をコンピュータネットワークがどのように解決できるかということについて、実際に行われた例を参考にして簡単に述べる。

いま、米国のコンピュータセンターBに利用したい原子力コード・データが使用可能な状態にあるとする。現在では通信衛星を介して日本-米国間のネットワークが構築されているので、国内のポイントとなるコンピュータセンターAにNTTの一般公衆回線を通してアクセスする。この場合、利用者はパーソナルコンピュータにホストAのエミュレーションソフトウェア（例えばIBM3270エミュレータ等）を載せて起動させるだけでアクセス可能である。米国内のポイントから利用したいホストBには米国内の完備したネットワークを利用することが可能である。

■ネットワークを利用すると

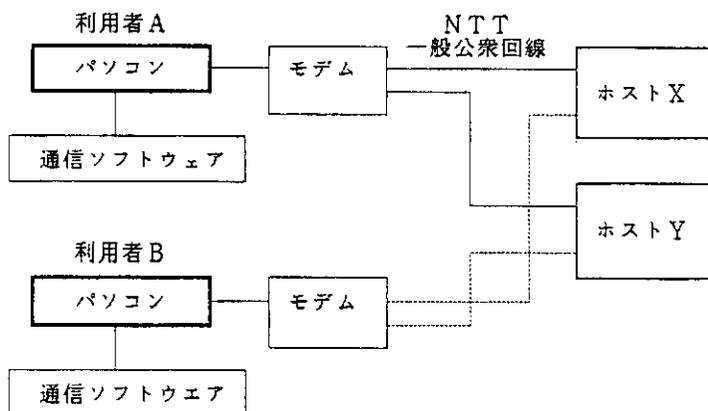


●ホストB、Cにあるコード・データを即時に利用可能

以上の方法を用いることによって、前節で述べたNEDACによる入手手続き、コンバージョン作業等すべて不要となり、問題点は解消する。利用者は入力データ、JCL等を端末から送り、必要な結果を得ることができる。もし、計算結果が膨大なリストであっても、米国内のコンピュータセンターは印刷出力をプリンタではなく直接マイクロフィッシュに出力するハードウェアを持っている所が多く、1枚のマイクロフィッシュには約60ページのリストが格納可能である。従って、結果が600ページを超えるようなリストであっても、マイクロフィッシュならば10枚程度のコンパクトなものであるので、国際宅急便を利用すると約2日で手許に届く。

また、上記のような大規模ネットワークの利用とは別に、単なる情報交換のみを行う場合には、下図に示すようなパーソナルコンピュータによるネットワーク利用を行うことも可能である。この場合、ホスト局は居ながらにして最新情報を容易に得ることが可能である。

■パソコンネットワークの利用



3. ネットワークのメリット

コンピュータネットワークに参入したコンピュータセンターは以下のメリットがある。

- 新しい情報がつぎつぎと入手できる。
 - 新展開が開ける可能性が大。孤立化を避けられる。
- 他のコンピュータセンターに無い高品質ソフトウェアがあれば
 - 全世界から利用され、そのコンピュータセンターの価値が高まる。
 - 国内・国際間の協力体制が一段と推進される。
- 自前で膨大なソフトウェアを維持、管理しなくても良い。
 - 自前でソフトウェアを維持、管理できなくても、
 - ネットワークホストとしての利用が図れる。

一方、ネットワークに参入しないコンピュータセンターは以下のデメリットを持つ。

- 自前で良いソフトウェアを持たないと、需要が低減化してゆく。
- 新しい情報が入手しにくくなり、孤立化する。
- ネットワーク化しなくても、利用者がわざわざ足を運ぶような、良質のソフトウェアを持ち、自前で維持、管理する必要がある。

このように、コンピュータセンターがつぎつぎとネットワーク化されると、将来は多数のコンピュータセンターの中から利用者のニーズに合ったコンピュータセンターが選ばれ、情報交換されると予想できる。そのため、ネットワーク化された各コンピュータセンターは個性を持つようになると考えられる。つまり、ネットワークに参入した後は、積極的に得意な分野を伸すような方策が必要である。

4. ネットワーク化への提言

以上のネットワークに関する議論より、将来のコンピュータセンターはほとんどすべてがネットワーク化されると考えられる。従って、孤立化しないためにも積極的にネットワークに参入すべきである。

この場合、単にネットワーク化しただけではメリットが十分に活かせない。すなわち、個性のあるソフトウェア資産を増やし、全世界から注目されるコンピュータセンターに発展させることが望ましい。良いソフトウェア資産を持たないでネットワーク化したコンピュータセンターは他の良いコンピュータセンターとの通信手段としての利用しかされなくなるからである。

また、ネットワーク化したコンピュータセンターは情報の流通が充実にするので、データセンター、情報センターとしての機能が強化できる。そのためには、単なるソフトウェアの維持、管理だけではなく、諸外国のデータセンターの現状と長所・短所を良く検討した上で、ソフトウェアの中身を熟知している専門家集団を組織内に組込む必要がある。なぜなら、良いソフトウェアは良いハードウェアと同じように、信頼性が高く、常に保守が良く行われていなければならないからである。

さらに、原子力情報センターの機能を充実させる観点から、パーソナルコンピュータによるホ

スト局を開設してはどうか。これにより数値データを含めた研究者間の迅速、正確な情報交換を図ると共に、ホスト局となることによって、常に最新情報を居ながらにして得ることが可能であると言う大きなメリットが生じる。

4.4 原研のデータベース整備

菊池康之（日本原子力研究所）

科学技術におけるデータベースの重要性はつねに認識されているが、日本におけるファクト・データベースの大部分は欧米からの輸入品である。今後我が国が真に独創的な研究開発を行うためには、基礎的なデータベース整備まで遡る必要がある。

原研においても、上記の見地からデータベース整備の方策が検討されてきている。原研においては、かなりの数のデータベースが作成されているが、その大部分は研究室レベルでの利用に留まっており、広く外部へ流通しているケースは核データ等の例外を除けば稀である。

データベースが広く利用される条件としては、①データが揃っていて抜けの少ないこと、②DBMSの使いやすいくこと、③各種マニュアルの完備していること、が挙げられるが、研究室レベルのデータベースを上記の条件を満たすように整備することは、原データベース開発の数倍の費用とマンパワーのかかること、研究室のミッションになじみにくいことが障害となっている。

これを解決するには、データベース整備をミッションとする組織データベースセンターを設立し、原研として統一されたポリシーの基に、高度のDBMSを用いて、データベースの整備、保守管理、サービスを一元的に行うことが望ましく、現在その構想が検討されている。

一方原研において、全てのデータを生産できる分野は少ないので、欠けているデータはネットワークによって補うのが今後の方向であろう。上記のDBMSはネットワークに対する柔軟性が必要である。

Development of Database in JAERI

Yasuyuki KIKUCHI (JAERI)

It is widely recognized that the database is essential measure of information exchange in the computer era. However, most of the fact database used in Japan have been imported. The development of own database is essential for Japan to make innovative research works.

Various discussion has been made in JAERI to develop databases. A considerable number of databases have been developed in laboratories of JAERI. Most of them, however, have been used only in the same laboratory, and very few have been widely used outside.

There are 3 conditions so that a database is widely used ; 1) a large number of data are stored, 2) the database management system (DBMS) is user friendly, and 3) the manual is complete. It is difficult for each laboratory to develop its laboratory-level database to the above-mentioned level, because it takes generally several times of cost and manpower than the original database development, and because such a work is not the mission of each laboratory.

To overcome this difficulty, a special section should be established. This section, named database center, develop various databases, maintain them and make various service concerning the databases with a high-grade DBMS under a general policy. Concept of the database center is now under discussion.

It is to be noted that JAERI cannot provide all the necessary data. The lacked data should be obtained with network service in future. Hence the DBMS should be flexible to network service.

1. 緒言

今回の研究会に於て、計算機のネットワークが取り上げられ、その問題点が広く議論されていることは、最近の技術情報処理の傾向から見て、誠に時機を得たものと言える。しかしその議論に於て、ネットワークの技術的側面のみが関心を集めているようであるが、ここではそのインフラストラクチャーについて述べたい。

ネットワークの最大のメリットは、ソフトウェアの共有によるリソースの節約である。即ち、ネットワークにより、大量のデータのやり取りが可能になる。この事は言い替えるならば、ネットワークの各拠点、他からみて魅力あるデータを持っていないことはならないことを意味する。日本におけるデータベース整備の立ち後れはこれまでも指摘されてきているが、ネットワーク時代に入ってはますます致命的となろう。第2章に於いては、原研を例として、データベース整備の現状とその展望を述べる。

一方、ネットワークによりデータの分散所有が可能となり、小規模な良質なデータベースの価値が高まったことも指摘できる。これについては第3章で述べる。

2. 原研におけるデータベース整備の現状と展望

2.1 現状とその分析

原研は原子力の幅広い分野で研究開発を行う過程で、データを生産、収集、蓄積してきており、その一部についてはデータベース化を進めている。その状況を表1に示す。この表からも分かるように、一口にデータベース開発といっても作成から整備の段階に沿って種々のステップがある。

データベースの意義の一つとしては、研究成果及び研究のために蓄積されたデータを計算機に保存することにより、データの散逸を防止し、データの客観性を保持することが挙げられる。この観点から見ると、原研のかなりの研究室においてデータベースを作成しようという努力がなされ、それなりの量のデータベースが研究室レベルでは蓄積されていると言える。

データベースのさらに重要な意義としては、研究成果を外部（所内外を問わず当該研究室以外の意味）がスムーズに利用できるための情報流通の手段としての役割が挙げられる。しかし、原研の研究室レベルのデータベースが、外部で積極的に利用されているケースは、核データや炉定数等の例外を除いては少ない。研究室で生産収集されたデータをより広く利用に供することは、原研の重要な責務であり、そのためには現在の情報化時代に要求されているデータベースのレベルに合わせた特別の整備の努力が必要である。

2.2 データベース整備体制の強化方策

2.2.1 一元的整備体制の必要性

データベースの開発は、データの散逸防止のため研究成果を計算機に保存する研究室レベルのデータベース作成、それらを情報伝達手段として外部の利用に耐えうるようにするためのデータベース整備の2つのステップに分類できる。

研究室レベルのデータベース作成を充実させるためには、一人一人の研究者が“研究は、論文

を書いた時点ではなく、データベースを作成した時点で終了する”との意識改革をする必要があろう。また研究成果をデータベース化するための人員・予算を常に配慮する必要がある。さらに研究評価についても論文のみでなく、データベースの作成のような地味な仕事も高く評価されるべきであろう。これらの実現に努め、研究室において研究成果のデータベース化が促進されること、次のステップのデータベース整備の前提条件になる。

しかし、各研究室において研究室レベルのデータベースが作成され、それらが公開されたとしても、それだけではそれらのデータベースがすぐ外部に広く利用されることは期待できないのが普通である。その理由としては以下の点が挙げられる。

- 1) 研究室に蓄積されているデータは、その研究室の研究成果かまたはその固有の研究目的のために集められたものが中心であり、外部の利用者にとっては、内容が特殊であったり、偏っていたり、抜けがあったりして、そのままでは利用しにくくなりがちである。
- 2) またそのデータベースマネジメントシステム(DBMS)も、研究室毎に開発された内部利用のためのもので、外部からの検索等には不便になりがちである。
- 3) 外部の利用者は、原研のデータベースの開発状況を系統的に把握する方法がない。また内部のデータベース作成者が、外部のニーズを的確に知る方法にも乏しい。

即ち、外部に利用されるには、①必要なデータが揃っていること、②DBMSが使い易いこと、③各種のマニュアルが整備されていること、④整備の状況が外部にアナウンスされていることが必要条件である。このように外部利用者から要求されるデータベースのスコープと研究室レベルのデータベースのスコープとの間には、大きなギャップがあることが認められる。

しかしこのギャップを個々の研究室の努力で埋めようとしても、以下の様な理由で中々実行できないのが現状である。

- 1) 研究室の主要な関心事は当然ながら研究の遂行であり、外部の利用者のためのデータベース整備は、研究とは直接関係の無いサービスで、自己のミッションとは思われない。したがってこの作業に対するインセンティブに欠ける。
- 2) 外部の利用者を満足させるために、上述のように欠けているデータを補い、DBMSを高度化し、各種のマニュアルを整備するには、元のデータベース作成と同等ないしは数倍以上のマンパワーと費用が必要とされる。しかし原研の現状では、個々の研究室にそれだけの人員・予算を投入することは効率が悪い。
- 3) また高度のDBMS構築には、全所的に共通のポリシーが必要であるが、このような仕事を個々の研究室で行うことには無理がある。

この様な状態を考えるならば、外部利用に耐えうる客観性のあるデータベースの整備を、広範囲の分野にわたって強力にかつ効率的に推進するためには、全所的にデータベースの整備、保守、管理、内外サービスを一元的に実施することをミッションとする専任組織即ちデータベースセンターの設立を含めた体制の確立が必要となる。

このデータベースセンターを設立することの利点は以下のように纏められる。

- 1) データベースの整備を本来のミッションとしているので、整備担当者はそれに専念しうる。
- 2) 共通のDBMS開発や、ネットワーク体制整備等の、分野によらない横断的な開発項目を効率的に行える。

- 3) センターに予算・人員を集中し、共通の高度な DBMS を用いた整備を行えるので、個々の研究室でバラバラに行うより、はるかに効率的である。
- 4) 各分野のデータベースが1つのシステムとして集中するので、総合的データベース構築の母体としても最適である。
- 5) 外部のユーザーにとっては、一本化された窓口で、共通の DBMS によるサービスを受けられることのメリットは大きい。
- 6) 外部サービスの一元化により、著作権の保護、データの不正流出防止等、データベースの適切な管理が可能となる。

2.2.2 専任組織と研究室の関係

このようなデータベースセンターが設置されたとしても、前述のとおりデータベースの最初の作成は各研究室であることは言うまでもない。研究室の成果を整理して、計算機の読める形にするという0次データベースの作成までは、今後の研究における義務と言えよう。それ以上の整備は、その研究室のデータベースとの関わりの深さによって異なるので、どの段階からデータベースセンターが関与すべきかは一概には言えない。したがって、データベースセンターが設置されて、それが有効に機能するためには、個々のデータベースについて、研究室とデータベースセンターとの間で、業務が適切に分担され円滑に引き継がれるように調整を図る必要がある。

データベースセンターと研究室との関係でもう一つ考えるべきことは、データベースセンターにおける支援活動と研究活動のあり方である。データベースセンターにおけるデータベース整備には、各分野の専門家のデータに対する判断が不可欠である。これらの専門家のポテンシャルと士気を保ち、上質のデータベースを担保するためには、データベースセンターにおいて、データベースに基づく研究活動、例えばデータの評価研究等を検討する必要がある。データベースセンターを単なる支援部門と位置づけるなら、質の高いデータベースの開発は困難となる恐れがある。これに関して、各々の分野においてどのような研究活動がふさわしいかは、今後の重要な検討課題である。

2.3 今後の展望と検討課題

前述したように、原研のデータベース整備の強力な推進のためには、専任組織であるデータベースセンターの設立が必要である。その設立に当たっては、組織、業務範囲、業務量、人員、予算等の具体的な構想を固めることが肝要であり、そのためには、以下の課題を検討しなくてはならない。

- 1) 研究室レベルのデータベース開発状況の把握：各研究室で作成されているデータベースを調査し、その研究室としていつまでにどこまで開発するかのスコープを把握する。
- 2) 所内外のニーズの調査：整備すべきデータベースの選択に資するため、所内外からのニーズを潜在的な需要を含めて、きめ細かく調査する。
- 3) 外部からのデータ入手の可能性の調査：原研内で入手できないデータの入手方法（購入、交換等）を調査する。この際ネットワークの活用がポイントとなる。
- 4) 整備のスコープの作成：各研究室で開発されているデータベースに対して、所内外のニーズを勘案して、データ分野を選択し、優先度を考慮の上、研究室としての整備スコープとの整合

性を図りつつ、データベースセンターとしての整備スコープを作成する。

以上の調査検討の結果に基づき、原研におけるデータベースセンターが具備すべき組織、人員、業務、予算規模等の具体的構想を纏める必要がある。その際、データベース業務とデータ評価研究のバランス、センターの自らの業務と外部への委託作業との関係、研究室との人員の交流、研究委員会などによる外部との協力体制についても十分検討をしなければならない。

現在この検討作業の為にワーキンググループが計算センターに設置されており、65年度からのデータベースセンター設置に向けて、今年度中にこの検討作業を終了させるべく鋭意努力をしている。

3. ネットワークとデータベースの分散所有

従来データベースには量の効果があり、ある大きさ以上でないと有効に機能しない面があった。これが俗に言う情報のマタイ効果となり、大きなデータベースにはますます情報が集中し、小さいデータベースはますます苦しくなり、データベースの寡占化が進むのである。マタイ効果とは、マタイ伝 13章 12節にある、“それ誰にても取らる人は与えられて、いよいよ豊かにならん。されど、持たぬ人は、その持てるものをもとられるべし”という言葉に由来する。

実際に化学の文献情報であるCAS (Chemical Abstract Service) に対しては、日本、欧州のデータも全て米国オハイオ州コロンバスに集中し、とても別なシステムで対抗できるような状態ではない。最近の米国の情報流通制限の動きと併せて、欧州ではこの情報独占状態を警戒する声が上がりに始めている。

このような情報の寡占または独占の弊害を廃するには、情報の分散と相互依存の体制を作ることが重要である。しかしながら従来は、前述のマタイ効果により、この実現が難しかった。

最近のネットワーク体制により、この分散と相互依存性が実現する可能性が出てきた。即ち、各ネットワーク拠点は、特徴のある良質なデータベースを持つなら、それが小規模のものであっても、ネットワークにより、グローバルなデータベースシステムの一部として機能しうる。

日本のようにデータベース整備の後進国にとっては、このような状況はきわめて有利であると思われる。従って今後の整備の方針は、いかに特徴のあるデータベースを保持するかに重点をおくべきであろう。

表 1 原研内で開発中の主要データベースの状況 (1988年6月現在)

分類	データベース名	作成課室	加工度	データ量(将来)	公開性	備考
1	原子力材料総合データベース 高温ガス炉用材料データベース 軽水炉圧力容器鋼材の中子照射データ 原子力機器の疲労データベース 配管試験データベース	材料応用工学研究室 高温工学試験研究炉設計室 構造強度研究室 "	1次、2次 1次 0次 1次、2次 0次、1次	1,500試験体(10,000試験体) 30,000点 700点 2MB 1MB	未 未 未 未 限(特会)	将来は統合の可能性
2	燃料ふるまいデータベース NSRR実験におけるデータベース 高温ガス炉燃料体からのFPP放出に関するデータ	燃料安全第1研究室 反応度安全研究室 高温工学試験研究炉設計室	1次 0次、1次 1次	20,000点 30,000点 300点	未 未 未	実験データベース: 880件(60件/年)
3	JDDR物量データベース JDDR解体データベース 解体廃棄物管理システム評価コード用データ	技術開発室 "	0次、1次 0次、1次 0次、1次	5MB 50MB 1.3MB	限(特会) 限(特会) 限(特会)	NRC/BNWLから収集
4	LSTF実験データベース 圧力制御実験データベース ROSA-III実験データベース ROSA-II実験データベース 大型再冠水実験データベース 小型再冠水実験データベース 高転換軽水炉熱水炉実験データベース 熱水炉過渡基礎実験データベース	安全工学第1研究室 " " " 安全工学第2研究室 " " 原子炉安全解析研究室	1次 1次 1次 1次 0次、1次 1次 1次 1次、2次	143,000万点(40,000万点/年) 28,000万点 51,000万点 7,200万点 110万点 23,000点 0 10,000MB	限 限(特会) 公開 公開 限(特会) 未 未 公開	他の実験の compilation
5	原子力発電プラント・データベース 機器故障率データベース 緊急技術対応システムの基本データベース(助言組織常備資料) 1)原子力発電所データベース(助言組織常備資料) 2)事故故障情報データベース 3)支援データベース 研究炉事故故障データベース: IDAS-RR	原子炉安全データベース調査解析室 " " " 原子炉安全解析研究室	1次 1次 1次 2次 2次 2次	80MB 15,000点 (120MB) 180MB 832件 20MB 130件	公開 未 限(特会) 限(特会) 限(特会) 公開	
6	燃料損傷データベース 損傷炉心冷却性データベース エアロソール挙動データベース TMI-2データベース	プロセス安全研究室 " " "	1次 1次 1次 1次	600MB 0 20MB 6500件(文書形式) 20MB(事故時データ等)	未 未 未 限	63年度着手 未着手 63年度着手 データベース更新中
7	臨界安全性実験データベース	臨界安全研究室	1次	500文献分(50文献分/年)	限(特会)	
8	再処理施設火災実験データベース 再処理施設セル換気系安全性実証試験データベース	プロセス安全研究室 "	0次、1次 0次、1次	200万点 100万点	限(特会) 限(特会)	

表1 (続き)

分類	データベース名	作成課室	加工度	データ量(将来)	公開性	備考
9	放射性核種の環境中移行パラメータ 人口、農畜産物生産分布データベース OECD/NEA核種吸着データベース：SDB	環境調査解析研究室 " 環境第2研究室	2次 1次 1次	2,500件 100トラック 0 (10MB)	公開 公開 未	近くOECDより入手予定
10	気象データベース 職業人の被曝データ 原研職員の個人被曝データ	放射線管理第1課 総務計測課 "	1次、2次 1次	19トラック/年 50MB 0.5MB/年	限 限 限	国際協定による入手のため
11	中性子核データに関するデータベース EXFORデータベース 評価済核データ収納検索システム：EDFSRS 原子分子データに関するデータベース 評価済核構造データ：ENSDF 崩壊データライブラリー	核データセンター 遮蔽研究室 " 核データセンター " ブラント安全解析研究室	1次、2次 1次 2次 1次、2次 2次 2次	600MB 50MB 200MB 8MB 100MB 600トラック	公開 未 未 公開 公開 未	データベースの管理上 現在は非公開
12	積分実験データベース 感度解析システムCATEXのデータベース	ブラント安全解析研究室 遮蔽研究室	1次 2次	41トラック 2MB (20MB)	未 限	現在はTCA中心
13	高速炉用群定数：JFS-3-J2 核融合炉用データベース SRACシステムのデータベース MGCLデータライブラリー JSD1000定数ライブラリー	原子炉システム研究室 " 原子炉システム研究室 " ブラント安全解析研究室 " 核エネルギーシステム研究室	3次 3次 3次 3次 3次	240万点 800万点 28MB 200万点 15,000トラック	公開 公開 限 公開 公開	原研外へは条件つき
14	エネルギーシステムズ解析のデータベース	核エネルギーシステム研究室	1次	80,000点	限	
15	JT-60実験データベース 1)制御系 2)ブラズマ計測系 3)インテックス・ファイル JFT-2M実験データベース	JT-60第1試験室 臨界ブラズマ計測室 臨界ブラズマ第1実験室 ブラズマ実験研究室	0次 0次 1次 0次	12,000MB (6,000MB/年) 6,000MB (3,000MB/年) 200万項目(100万項目/年) 650MB (300MB/年)	限 限 限 未	3MB/shot, 年間 2000shot 1.5MB/shot, 年間 2000shot 500項目/shot, 年間 2000shot
16	計測に関する各種開発実験データ FNS実験データ HENDELデータベース 高温構造工学データベース	原子炉計測研究室 核融合炉物理研究室 HENDEL管理室 高温構造工学研究室	0次 0次 0次 0次	100MB (700MB) 15MB (5MB/年) 500MB (300MB/年) 500点 (1500点)	未 限 未 未	関係者のみ利用

加工度

- 0次：実験データをデータベースなどに収容したのみのデータベース
- 1次：0次データベースを適当なデータベースマネジメントシステム (DBMS) により、検索や保守を容易にしたもの
- 2次：1次データベースを評価して標準化した評価済みデータベース
- 3次：1次、2次データベースを加工して、特定の計算コードの人力ライブラリーとしたもの

公開性

- 公開：現在公開されている
- 未公開：将来公開を考えているが、現時点ではそこまで整備されていない
- 限：特別会計や国際協定等により、公開を制限されている

4.5 BITNETの6箇月間の使用経験

峰原英介 (原研東海)

BITNETを1988年3月から使い始めて約6箇月になる。最初は簡単な手紙、挨拶のやり取り、次にプログラムや情報の提供の可能性についての打診であった。最近はアメリカの友人から比較的大きなプログラムをBITNETを通して送って貰う事を試み、うまく行っている。BITNET通信は大変有用で、便利であることを実感できたが、幾つか重要な解決すべき問題がある。東海研のあちこちにあるTSSターミナルで使えないこと、300KBより大きなプログラムを送れないこと等である。

Experience for the first six months as a BITNET Beginner

Eisuke MINEHARA (JAERI Physics)

I have been a user of BITNET this six months since March, 1988. At the very beginning stage, letters and greetings were transferred through BITNET. Next, I asked several friends of mine through BITNET about the possibility that they would send me some programs and information. Recently, I successfully tried to receive a relatively-large program through BITNET from my friend in USA. I have experienced this six months that the communication through BITNET was very useful and convenient. However, there were some problems that we could not use BITNET at TSS terminals distributed in Tokai site, and that we could not send larger programs than 300 kB, and so on.

1988年3月から現在(1988年9月)までSORのビーム光学計算用計算機プログラムを至急集めるためにBITNETを約6箇月使用した。この経験を以下に簡単にまとめる。

最初はSORのための光学計算プログラムをどこで手に入れたらよいかの問い合わせをアメリカの国立研究所、大学の加速器の専門の人達との間でBITNETを用いて行なった。ここまでは簡単な手紙、挨拶のやり取りですんだ。

こうして作製した光学計算プログラム収集リストにしたがって、次にプログラムや情報の提供の可能性についての打診を行ない、必要に応じてBITNET、手紙、FAX、TELEXを用いてプログラム管理者、著者、関係機関の担当者から了解を得る作業をチェーン式に行なった。最後は了解を得た各プログラム管理者から比較的大きなプログラムをBITNETを通して送って貰う事を数回試み、うまく行う事が出来た。

短時間ではあったが20人程度の方々と各々数回から十数回の通信を行なう目的のプログラムも幾つか手に入れることが出来た。以前のMT郵送に比べて数十倍効率的に仕事を行なえた。このようにBITNET通信は大変有用で、便利であることを実感できたが、幾つか解決すべき問題がある。そのうち比較的重要な2つを指摘しておく。1) 東海研のあちこちにあるTSSターミナルで使えないこと、2) 300KBより大きなプログラムを送れないこと等で効率的な運用の妨げとなっている。

4.6 INISデータベース

古谷 実 (日本原子力研究所技術情報部)

INIS はネットワークを基本的な構造として持つ文献情報システムである。各国で公開される原子力文献の書誌データ、抄録、キーワードを1セットとしてその国の原子力情報センターから IAEA の事務局 (INIS 課) へ磁気テープ等で送り込む (入力)。事務局では、IAEA のセンターマシンでデータのチェック等を行い、集まったデータを月2回、1本の磁気テープにまとめて各国に送り返す (出力)。

INIS 出力データは、通常3通りのサービスのいずれかで用いられる。①各国に配られた磁気テープによりその国内規模のオンライン検索システムのデータベースとして使う。②研究所、企業内のオンライン検索システムで利用する。③国際的なネットワークに乗った INIS データベースを検索利用する、等である。CD-ROM の出現により、文献データベースはそのネットワークが多様化する方向にあり、原文献の提供方式を含めて変化のきざしがうかがわれる。

INIS database

Minoru FURUYA

Department of Technical Information

International Nuclear Information System (INIS) is a world-wide information exchange system on nuclear literatures decentralized and based on networking. The nuclear information centers in each country participated in INIS send the data which contains bibliography, abstract and descriptors to INIS section of IAEA Headquarters in Vienna, Austria. After check and compilation of the data are made in the section, these data are sent back to each center by magnetic tape twice a month.

The output data are used by us one of three ways in general. That is to be used through on-line retrieval system via telecommunication lines in a country such as JOIS operated by JICST, local area network connected with an institution mainframe, or international information retrieval system well known as the Dialog, STN International and so on.

Usage of the literature databases will alter more complicated aspects, accelerated by practical use of CD-ROM database. It seems to change the ways for accessing information and original literatures.

Keywords : INIS, Information Retrieval, Nuclear Information, Network

1. はじめに

International Nuclear Information System (INIS) は、IAEA加盟国の参加によって1970年に発足した原子力文献情報システムで、1987年末には累積116万件のデータベースに成長した。現在では、75カ国、14国際機関が参加し、原子力の研究開発のために、欠くことのできない情報源として、世界各国で利用されている。ここでは、INISの仕組み、その利用のされ方、今後の展望等について簡単にふれることとする。

2. INISの仕組み

INISが発足するに際して、従来から活動してきた文献情報システムと大きく異なる2つのコンセプトが基本構造として提示された。その1つは、文状情報データの入力と出力を参加各国の分担にしたこと、もうひとつはコンピュータ処理を情報取扱いの中心にすえたことであった。今でこそ、文献情報処理にコンピュータが用いられることは当然となっているし、各所で分散処理を行うことを前提としたネットワーキングが珍しくはないが、構想が発表された1966年当時にとっては、全く新しい経験を切り拓くシステムであった。

原子力の文献情報システムとしては、アメリカ原子力委員会（当時）の技術情報部によって1947年からNuclear Science Abstracts (NSA)が刊行され、世界の原子力開発に同志が果たした役割はきわめて大きかった。NSAに限らず、化学分野では戦前からアメリカ化学会の一部門によりChemical Abstracts (CA)が出されており、医学分野においてもアメリカ国立医学図書館の手によるIndex Medicusが大きな役割を果たしていた。

これらの巨大文献情報誌は、いずれも1960年代から印刷組版がコンピュータライズされ始めたが、抄録索引誌の刊行自体が情報サービスの主力となっており、コンピュータ組版の副産物として文献情報データベースの形成がようやく始まったという状況であった。また、もうひとつ特徴として、多くの情報処理専門家と多額の費用を要する文献情報誌の刊行事業を、アメリカ一国のまたはその中の一機関の努力に負い、必要に応じて先進各国が一部分に手を貸すといった様相が見られた。

したがって、INISは抄録誌の刊行を考えず（後にNSAの廃刊に伴いAtomindexが抄録誌に変わったが）データベースの利用を中心に置き、参加各国が入力と出力にすべて責任をもつという構想が画期的なものと受け止められた。

入力に関する各国の責任は、その国内で公開された原子力文献のすべてを集め、その書誌情報、抄録、キーワード（正しくはINISシソーラスによって統制されたディスクリプタ）を英文で記述したうえで磁気テープに収め（開発途上国はワークシートのままでもよい）ウィーンのINIS本部に毎月2回（1回でもよい）送る。抄録だけは英文のほかに、フランス語、スペイン語、ロシア語で記述されたものを付加することができる。

本部では各国から送付されたデータを、書誌及び主題(subject)専門家がサンプリングチェックし、コンピュータチェックに引っかかったエラーを修正したうえで月に2回、1本の磁気テープに編集のうえ、各国に送りかえす。1本の磁気テープに編集した段階で、電算写植機により

INIS Atomindex が打ち出され、これは印刷されて市販ルートにのる。累積データで印刷物及びCOMによる累積索引も刊行される。

各国に返送された磁気テープについては、その国の方針に従いいろいろな方法で利用されることになるが、詳しくは次節で述べる。日本からの入力件数及び受け取った出力件数を Table 1 に示した。

3. INIS データベースの利用

前節でも述べたとおり、文献データの輸入が各国の分担となっているのと同様に、各国から集められた全世界の原子力文献データをどう利用するかも、各国に任されている。したがって、日本の状況を以下に述べるが、INIS データベースの利用はすべて国内規模に限られるかということ決してそうではなく、世界をネットする情報システムにも載せられていることを、そのあとに述べる。

3.1 日本での利用

文献データベースの利用のしかたは通常2つある。その1は、毎月到着する最新のデータファイルに対して、予め設定された質問テーマをぶつけて回答リストを打ち出し、それを質問者に送付するSDI (Selective Dissemination of Information) である。その2は、必要に応じて過去何年分かのファイルに対して検索を行うRS (Retrospective Search) である。前者を最新情報定期検索、後者を過去分情報不定期検索と呼んだりする。

検索手段にも、バッチ処理方式と、端末機からのオンライン方式の2通りが使われている。SDI は主にバッチ処理で行われており、RS はオンラインの会話方式で必要な情報に到達しようとする。

利用するシステムの面から眺めると、これも2つに分かれている。SDI は所外の利用者に対しては原子力弘済会がサービスに当たっているので、原研のシステムに一元化され、毎月約400テーマのSDI が走っている。一方RSについては、オンラインは日本科学技術情報センターがJOISにより国内全域のサービス (Fig. 1) を行い、原研のオンラインサービスは所内に限定されている。バッチ処理によるRSもごく一部行われているが、所外の需要に対してはSDIと同様原子力弘済会がそれに当たっている。

オンラインによる検索利用は9,000回/年で、以上の経年変化を Fig. 2 に示した。

3.2 国際ネットワークによる利用

ウィーンのIAEA本部がもつINIS データベースは、IAEAの計算機をESA (ヨーロッパ宇宙開発機関) のネットワークに直結し、ヨーロッパの多くの国がそれを利用している。東ヨーロッパ諸国はIIASA (国際応用システム研究所) のネットワークを経由してINISの利用を行っている。

イギリスの場合を例にとると、自国のオンラインネットワークと国際的なネットワークDIALOGの双方を利用している。このDIALOGに載っているデータベースはアメリカの

DOE Energy と呼ばれるもので、INIS データベースが非核エネルギーも含めたエネルギー全般のデータベースに取り込まれたものである。エネルギー開発というくり方で研究活動を行っている国が多くなってきているためか、原子力データベースを独立させないこのアメリカのような事例が多々見られる。

西ドイツは、この DOE Energy と INIS の双方を STN International と呼ばれる国際システムにのせ、自国ならびに他国の利用に供している。文献データベースの国際的なサービスはそのことを専業とする DIALOG はかいくつかの企業によって行われてきたが、昨年日本科学技術情報センターも加わって西ドイツの FIZ-K (Fachinformationszentrum-Karlsruhe) とアメリカの CAS (Chemical Abstracts Service) の三者協同で開設した STN International はデータベース作成者自身による国際オンラインネットワークとして注目を集めている (Fig. 3)。

明年からわが国においても、この STN International と DIALOG の双方により INIS データベースを含んだ DOE Energy の利用が可能となる見込みである。

4. 今後の課題

INIS データベースに限らず、文献データベースのオンラインネットワークは、国内・国際を問わずさらに多様な使われ方を呈することとなる。それは関連するデータベースの併合や分割を含めて、複雑な様相をみせるものと思われる。利用者は、それらの中から、もっともニーズに適合したデータベースを選びとる機会がふえる、とみてよい。

入力に関してもネットワークの活用が一段と進むものと思われる。北欧 5 カ国が Nordic Energy Information と称して地域ネットワークを形成し、デンマークの Risø 国立研究所を中心として 1985 年から活動している。ここでは、各国が通信回線を介してエネルギー文献情報を送りこみ、Risø のセンターが ETDE (Energy Technology Data Exchange) 向け INIS 向けと用途別にデータを仕分けてインプット MT を作成している (Fig. 4)。大きな国際協力の内枠に、小さな国際協力ネットワークができるという現象は、INIS の場合ブラジルを中心とする南アメリカでもその例を見ることができる。

CD-ROM がネットワークに与える影響についても、ここしばらく大きな関心をもたざるをえない。INIS も 1989 年末から CD-ROM によるデータベースの供給を行う計画を進めている。CD-ROM はパソコン 1 台で、ネットワークの端末とほぼ同様の機能をもつこととなるので、ここ数年の間にかかなりの普及をみせることとなる。その影響のひとつは、データベースの download を事実上フリーにすることと思われる。現在は、データベースの利用料金がその時々利用時間、出力件数によって計算される。Download が一般化すれば、download されたデータのその後の利用価値をも勘定に入れた料金設定ということになる。利用者側も、自分に必要な大枠でデータを取り込み、他のデータベースからとり込んだデータとまぜ合わせて私的なデータベースを作成してパソコン等で日々使用するというかたちが多くなる。

その他、わが国固有の問題としては、文献データベースに関して適当な VAN が発達していないため、システムごとにネットワークを張りめぐらしている。したがって、多様なデータベースの活用を図ろうとすると、アクセスポイントが多くなり、その手順も異なる。

5. おわりに

原子力のデータベースがエネルギー全般のデータベースの一部を構成したり、またユーザー個人のインタレストに合致する小集合に分割されたり、利用のされ方はますます多様化しよう。利用の様式が変わることに伴い、データベース供給側も、国内・国際のネットワークをもって応じようとする。CD-ROMの出現は、こうした傾向にさらに拍車をかけることとなろう。

データの作成側の地域内・外とのネットワーキングによる協力、相互依存の度合は更に深まるものと思われる。また、利用者側も、こうした多様化に応じた賢いデータベースの使い方を会得することが望まれる。

Table 1 Japanese contribution for INIS database and its accumulation

F.Y.	Input items	Output items	Remarks
45	599	4,053	} Initial scope
46	710	10,425	
47	1,827	20,862	
48	2,483	56,757	
49	2,255	63,667	
50	2,759	63,300	
51	3,320	60,479	
52	3,376	69,028	
53	3,480	70,795	
54	3,589	75,957	
55	3,725	76,593	
56	3,734	70,820	
57	3,890	72,690	
58	5,000	92,216	
59	4,879	73,362	
60	5,590	86,529	
61	6,012	90,401	
62	5,990	101,118	Japanese contribution: 5.9%
Total	63,218	1,159,052	

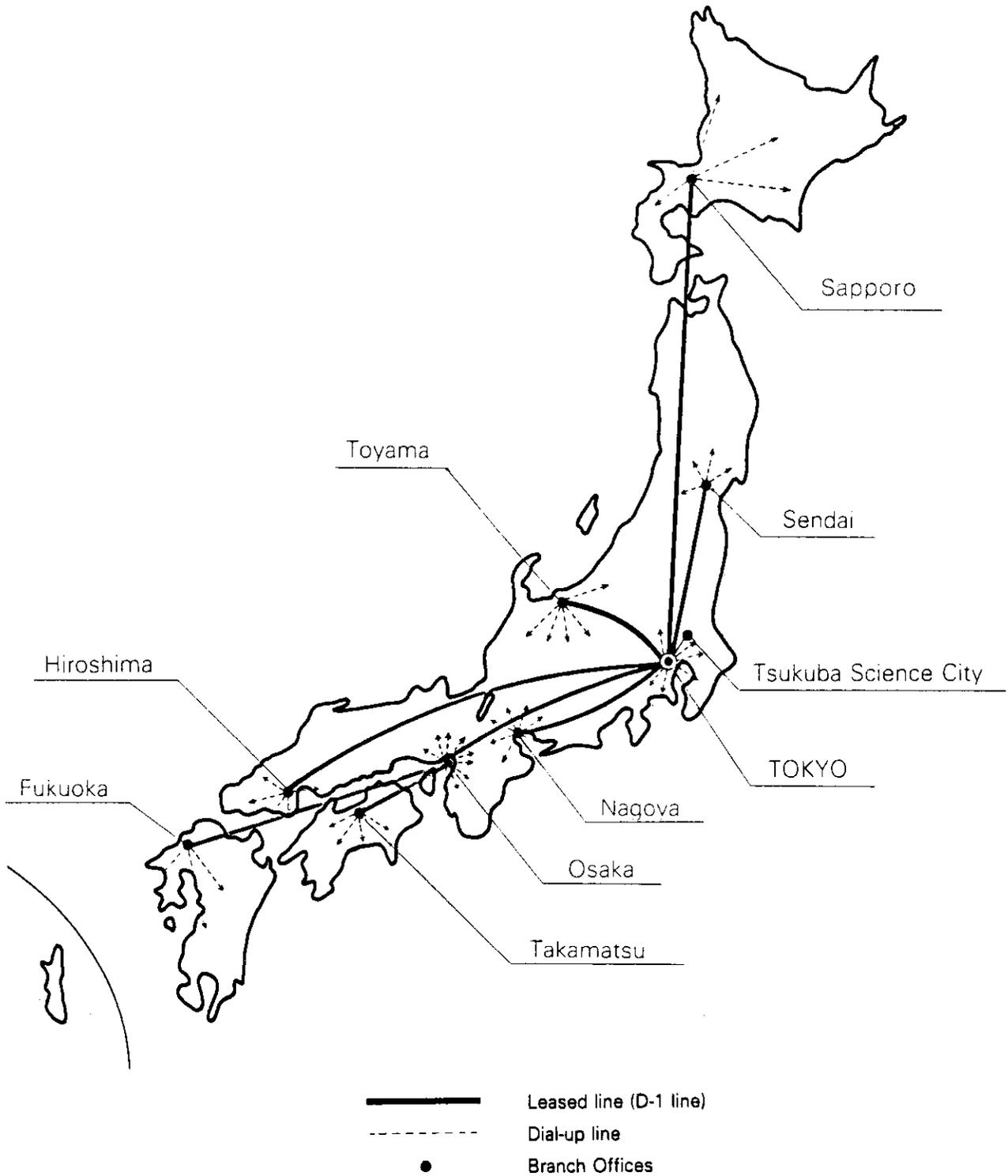


Fig. 1 Domestic on-line network for INIS database by JICST-JOIS

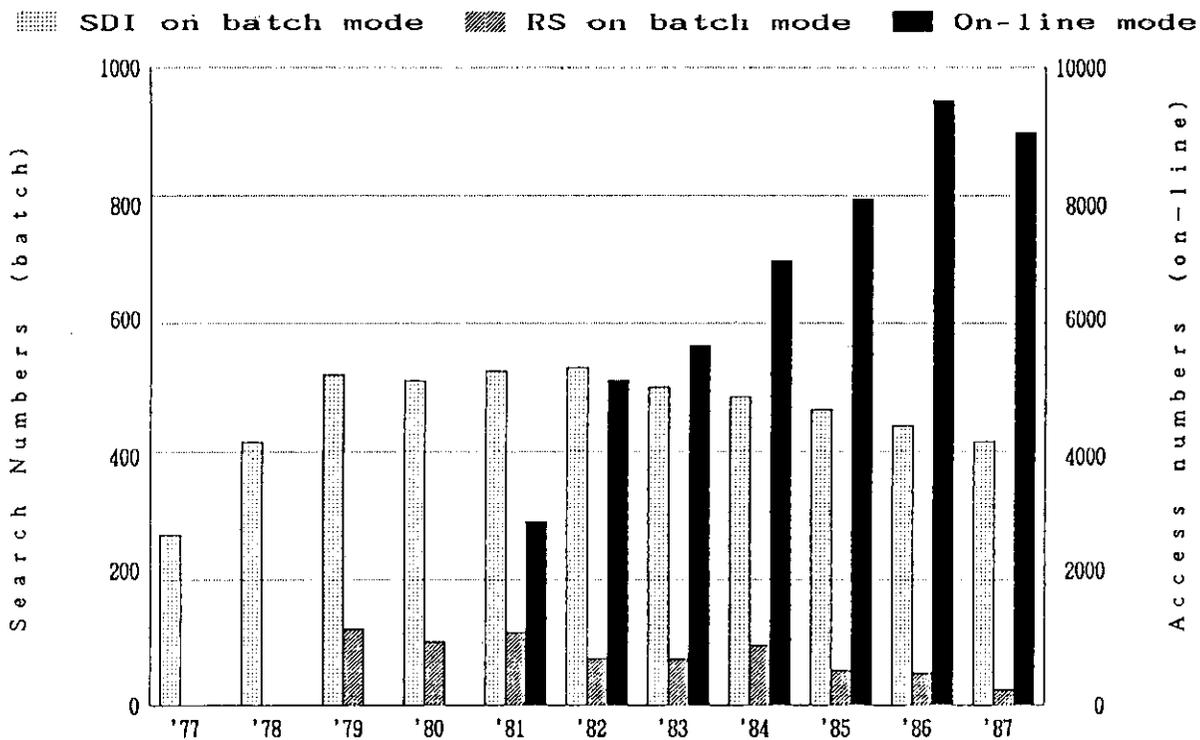


Fig. 2 Use of INIS database in Japan

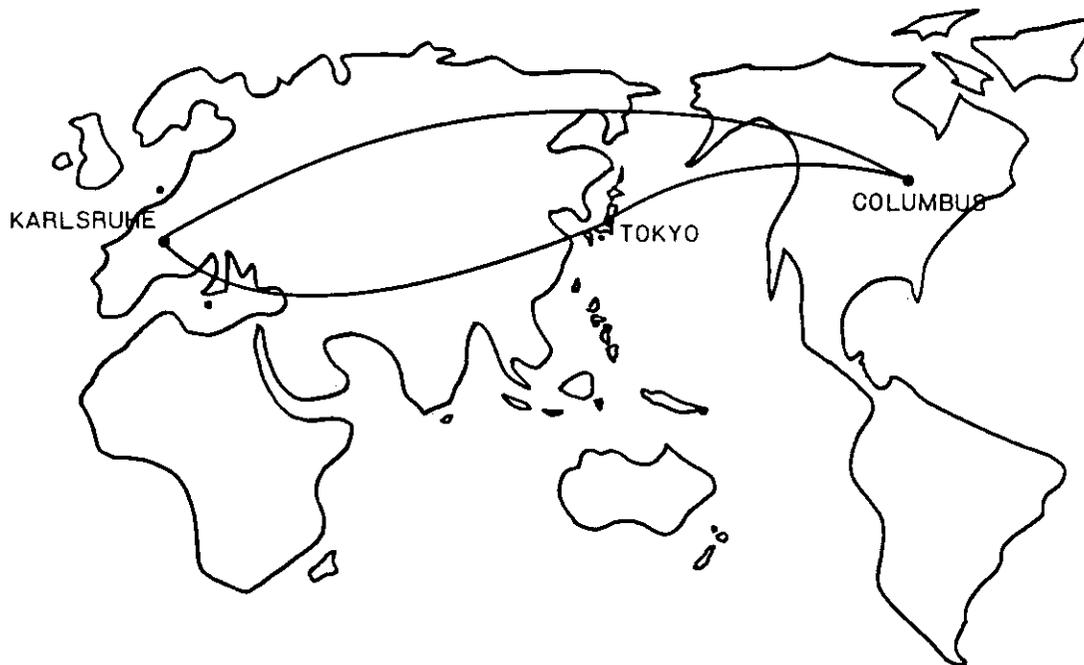
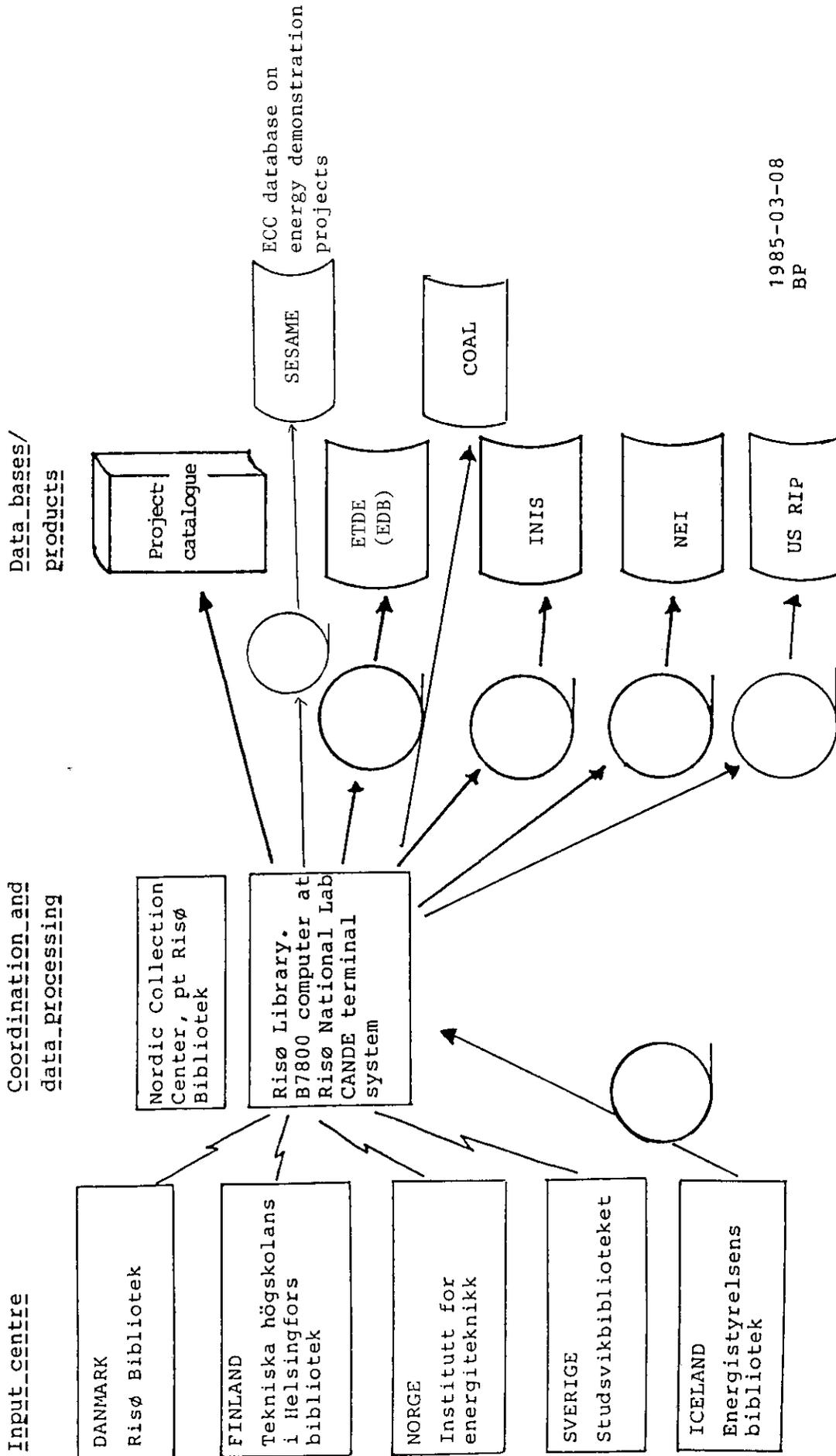


Fig. 3 STN International cooperated with large database procedures in Japan, United States and F.R. Germany.



1985-03-08
BP

Fig. 4 Organization of input from the Nordic countries to ETDE, INIS and so on.

4.7 パネルディスカッション要約

以下当日行われた討論の要約をまとめた。詳しくは各コメントの発表論文を参照して下さい。

Panel Discussion Summary

Following is a summary of the panel discussion. For details please refer to the original paper of the key note presentation available in 4.1 to 4.6.

各コメントー基調講演

〔岩田先生〕：「原子力関係者のためのネットワーク」

最近の情報洪水はものすごいもので、予算に比例して厚いレポートが送付されて来る傾向にある。いったいこれを何処にしまうべきかで悩むことが多い。これらの情報の中で新しい情報はごく僅かで、良く知られている情報とか、データが主体で、厚さの割には中身は無い傾向が強い。これらをデータベースとしてどの様に蓄積すべきであろうか？ またインフラストラクチャーとしてこれら情報をどの様に整理して行くべきか？

データベースは資源が生成されて価値を持って来る。例として、材料データベースを取り上げる。1982年当時材料データベースの構想が始められた頃の関係者の共通認識は、「個々のデータは、それについて一生打ち込んでいる研究者によって評価しつくされたデータこそ価値があり、それらは世界中に分散していて構わない、ネットワークでダイナミックにそれらを結合させて有効利用をどの様に図るかと言うことが重要である」と言うものであった。当時それらを実現する手段はgate way systemであり、知的システムとは程遠いが、ネットワークを使えば、利用者側がある程度知識を持ってくれば利用できるのではないかと考えられていた。

一般に、データはシグナルとして研究者により感知され、さらに加工されデータモデル等により評価しつくされてデータベースが出来て、さらに、そのある種の抽象化操作で知識ベースが生成される。こうしてある種の価値を持った成長したデータからまた新たな知識ができるといった一つのライフサイクルを持っている。

ネットワークでそれをよく利用するためには何が必要か？個々のデータベースの開発者が勝手なことをしていたら相互に利用しづらい。研究者は究極的には知識ベースで何か新しいものを見つけない。また相互に効率的に使いたい。そのためにはルール&エチケットがネットワークの利用ソサエティー内で出来上がらなくてはならない。

原子力分野での、データベースやネットワークの状況を見ると、昔ながらの強大なコンピューターのもとで、みんながこれらを（官庁間の壁等で）相互に利用しあえない状況にある。そして会議の数はますます増え、レポートもますます増え、部屋に居場所がなくなる程である。特に原子力は予算の関係上出て来るレポートは極めて厚い。こういった状況を改善したく原子力学会の中に標題にある様なワーキング・グループを作った。

〔中沢先生〕：「原子力ネットワークを使って 世紀の原子炉概念を進化させよう」

現在世の中は生産革命のただ中にある。SONY, 日産等でのネットワーク利用によるCAD/CAEの利用にはめざましいものがある。しかしながら, 原子力ではそれほどでない。そうした感じを持つのは原子力を知りすぎているという身内意識からだろうか? 自動車等ではネットワークの上で作業をやっているからうまく行く。しかし原子力はネットワーク化するには全体が大きすぎるのだろうか?

CIM(Computer Integrated Manufacturing)が今後の主流になって行くとすれば原子力全体でネットワークを作らないと駄目であろう。そのためにはSIS(Storategic Information System)に代表される戦略的な観点からネットワーク化に取り組まねばならない。

〔山野氏〕：「原子力コードの利用等」

一般企業の利用者としての立場から, ネットワークについてコメントする。

ネットワークを使わない場合には, 新しいコードが公開されるとすると, そのリリースのニュースを知り, NEDAC等を通して磁気テープを入手するまで最低2ヶ月かかる。これでは, 日進月歩の研究競争に負けてしまうことになりかねない。一方ネットワークのホスト局は最新の情報をいながらにして得ることが出来る。即ち, 自前でソフトウェアを持っていなくてもネットワークホストとして利用が図られうる。その新しい情報から, 新事業の展開がはかれる事にもなるし, 世界から孤立化することが避けられる。ホスト局は全世界から利用出来る事になる。

ネットワーク化しない計算センターは良質のソフトウェアを維持管理する義務が生じる。そうしないと生きて行けない状況になるであろうと思われる。さらにネットワーク化したセンターでも, 将来は, コンピューター&コミュニケーションにより得意な分野をより伸ばす等, 個性のあるセンターにならないと生き残れないのではなからうか。

〔菊池氏〕：「原研のデータベース整備」

現状でネットワークに乗せるべきデータベースがあるだろうか? 原研ではこれまでに, 材料, 燃料, 安全性に関する熱水力関係, 環境安全, 核融合, 核データ, 炉物理といった分野でのデータベースを蓄積してきているとは言っても, 外部に出して使ってもらうデータは極めて少ない。特に, 外に売り物になるデータベースと研究者レベルのデータベースとは全く次元の違う話であることを認識しておく必要がある。またデータベース整備は, 研究室のミッションに乗りにくい。そこで原研内にデータベースセンターをつくって, ここ数年で外部へ出せるデータベースの整備をする予定である。原研で全てのデータを揃えられないから, 足りない部分は外部の物を利用する。

ネットワークという派手な情報処理手段に目を奪われ易いが, まずトランスファーするデータを整備するのが重要である。

〔峰原氏〕：「BITNETの6箇月間の使用経験」

BITNETの使用経験でmail, fileでprogramの交換を行った。利用経験からの問題点を指摘した。1回に送れるデータに300Kbyteの制限がある。原研の場合, 個人の持っている端末か

らは操作できずいちいち計算センターの端末まで出向いて行かないと使えない。便利ではあるが問題点も多い。

〔古谷氏〕：「INIS データベース」

昭和45年からINIS データベースの整備を18年間やってきた。昨年末で116万件になった。これらはJOISで全国利用されている。56年からはon-line利用が開始されている。SDI：Selective Dissemination of Informationやon-lineサービスにより年間9000回(Access回数 国内原研併せて)の利用があり、時間にして原研利用1600時間、原研外利用200時間となっている。

日本(日本科学技術情報センター：JICST)、ドイツ(Karlsruhe)、アメリカ(Ohio Columbus：CAS)を結ぶ国際センターが機能しつつある。利用者がアクセスしたいデータを利用したいときに利用出来る様にする事が重要である。

まもなくCD-ROMによるデータベースのdistributionが始まる。100万件のデータが高々5枚のCD-ROMに入ってしまう。ダウンロードを現在出来ない形にしているが、今後そうはならなくなる。これは、利用者にとっては良いが、提供者側としては難しい問題を含んでいる。特に商用の場合にはダウンロードで日銭を稼いでいるので今後何処で稼ぐかが問題となる。

また利用者に如何にうまく利用させるかも問題となってきた。特に多様化してくるデータベースの利用チャンネルの中から如何に賢く自分のneedsにあった物を選ぶかが重要となる。そうしないと迷路に迷い込む事がある。利用者も賢い利用者にならないといけない。

以下各コメントー補足及び討論

〔岩田先生〕：提供できるデータはあるかという問いに対して、新しくなくても編集して新たに付加価値を入れてそれを提供することも可能であろう。しかし、こうしたデータ価値を一桁上げる努力を誰が出来るかが問題である。

これまで日本は米国ヨーロッパの汗の結晶を只で使ってきた。よそのデータを持ってきてどうintegrateして新たなものを作るか。それが本当に喜べるか？ また知的努力をどう客観化するかも問題となろう。

先に述べたデータのライフサイクルを通じてシステムが使い易いことが第一の条件である。しかしながら、一方では、データベースは研究者のやる仕事ではないとの認識がある。一つの集中センターでデータベースをやって行くとすると、巨大なマンパワーと費用が必要。自分のセンターの強い所のみ努力して、それぞれが持っている財産をpublic domainの形で持ち寄ったらよいのではないか？ 現在パワフルなエンジニアリング・ワーク・ステーションがかなり簡単に買える時代であり、そうした議論が始まりつつある。

〔中沢先生〕：自動車はファッション産業だからネットワーク化が簡単におこなえたともいえる。原子炉は長期的展望を持ってやっに行かなければならない。その点から見れば、前に基調講演で述べた議論は少し反省しなくては成らないかも知れない。

目標を持ってデータ・ベースを作っていくのも重要だがそれを使える小さなシステムを作っていくのも重要である。またコストダウンせずにシステムの改良にそれを投資して行くということも重要である。

ネットワークについては、多くの情報が輻輳しているが、それを使うのが本当にいいことか判らない。例えば、外務省はネットワークは使わないと言う。電信文化と言うのがあって、きわめて短い言葉で人を動かすことが重要であるとの立場からだそうだが、我々も少し反省が必要か？

〔山野氏〕：ネットワーク化したコンピューターセンターは、将来個性が出て来る。外国から一目置かれる立派なセンターにならないといけない。データ・ベースセンター構想は注目に値する。それはソフトウェアの維持管理のみではなく、世界制覇の意味があるからである。

良いソフトウェアは信頼性が高いことが重要なファクターであり、トラブルの際に迅速なサポートが必須である。そのためには、プロの集団が維持管理に当たる必要があり、いわゆる血の通ったセンターであることが重要である。

原子力では研究者間の情報交換には大型機は不用である。もっとずっと小さなシステムで充分である。それらを使って情報交換を頻繁に行う事が必要である。

〔菊池氏〕：古谷氏の述べた STN CAS がデータ・ベースの典型であろう。データ・ベースにはマタイ効果と呼ばれる効果があり、これはマタイ伝中の「かくして持てるものはますます富み、持たざるものは持っているものすら失う」を比喻した物であるが、ヨーロッパはこれを現実に心配している。常に相補的に情報を持っていないと危ないと思っている。ネットワークのない時代はマタイ効果を恐れたが、ネットワーク時代では、逆に個性的なデータ・ベースは生き残れるのではないかとの感じを持つ。世界的にバランスが取れることにするためにもネットワークは必要である。

〔峰原氏〕：ソフトウェアの交換ではなく、それぞれの研究者が動いているコードをそのまま使わせてもらう方向へいくべきではないか。

〔古谷氏〕：INIS は総勢75ヶ国（内国際機関14）、原子力をやりそうな国はすべて含む。ネットワークは自分一人では出来ないものを他人と組んでやればかなりのことが出来るという発想であり、事実、INIS においても国際ネットワークの形成により国の網の下に地域国際協力が発生するという状況が生じてきている。

その一面ではネットワークは楽なものではない。例えば75ヶ国が参加するととなると、膨大なマニュアルが必要となり、INIS では全部で26-27冊にも成る。それらは字引としても使えるものとしなくてはならない。またネットワークの利用については国内ですら官庁間の壁、企業間の壁があり、簡単にはコネクト出来ないのが現状である。何れにしろ、これらをうまく使って行くためには利用者は賢くなければ成らない。

〔一般質問〕：プログラムの配布と計算機使用についての関係

現状では、外部の人達にハード（計算機：CPU）は使わせないのが大部分のセンターだろう。非常にガードが硬い。一方皆さんの話では、プログラムは簡単に出て来るのではないかとの感じを持つが、プログラムを出すよりハードを使わせる方が簡単ではないのか。プログラムの場合にはコンバージョンやテストが大変。時間も費用も掛かってしまう。

〔返答〕：しかしながら計算機使用に対してお金は貰いにくいのが現状であるのも事実である。今後の傾向としてコンピューターパワーはそれほど貴重ではないと考えても良いと思うので、段々状況も変わっていくのではないか。

〔質問：深堀（原研）〕：ネットワークとデータ・ベースは多様化するハードウェアの下でデータのformatを決めなくてはいけないのではないか。バラバラのプロトコルとFORMATでネットワークが組めるのか？

〔岩田先生〕：材料分野のデータ・ベースではintelligent gate wayを考えて翻訳機能を中間に持ってデータモデルの意味論を解釈して計算機がguideしてくれるようなシステムを考えている。利用者は中身のみ気にすれば良いと言う立場である。

〔深堀氏〕：それだったら従来のエミュレーターと余り差がないのではないか？翻訳システムを誰かが作らないとだめではないのか？その方向にいかざるを得ないのか？

〔岩田先生〕：対象によるのではないか。いずれにしても何処かでtake careしてやらないと駄目だろう。intelligent filterを作らないと駄目なのではないか。ある程度まで利用者に開発の責任がある。例えば何処にデータがあるか存在場所を教えてあげるのみで後は利用者がやれと言う立場なのがヨーロッパ。アメリカは逆でかなり面倒を見てくれる。結局利用者と開発者との駆引きで誰が残るかと言うことだろう。

自由な情報交換をしなくてはいけないことは明かで、官庁間の壁（通産、文部、科技庁）、センター間の壁は取り去るよう、頭を切り替える必要がある。public domainと言う事を考える必要がある。

〔古谷氏へのコメント〕：INISでは、国際間の問題点が多かったのか？

〔古谷氏〕：70%が標準化の仕事であった。そのためのマニュアルが積み上げられた。アメリカ型formatとINIS formatとは若干違っている。しかしながら基本的には同じformatを使って行こうという立場にある。

〔藤木氏（原研）〕：ネットワークによるデータとCPU powerの共有について1つコメントしたい。今のハードの進歩を考えると、CPU powerのcost performanceは大きく上がっている。よそのmachineを使うより、ソフトウェアを配ってしまってCPU powerの安いものを使い、そうすれば巻き込む人間全ての管理上のコストを考えてもその方が安いのだとすると、ハードの進歩とネットワークの利用を考えたとき、どちらがいいのか分からなくなる。また安全性分野はdata securityが重要で、事故、故障データ等は開示制限という事からindustry community内でのみ情報が流通している。しかもうまく流通している。このように原子力ネットワークはい

わゆる一般の基礎データ（公開されたデータ）とは違う側面があることも認識して行かなくてはならない。情報の公開性、知的所有権の問題、社会的制度、政治的要因等考えなくてはならないことになり、そうすると余りバラ色の展望では無いのではないか。

〔中沢先生〕：ネットワークも夢の時代、社会に定着の時代、各種の摺合わせが必要な時代等いろいろ考えられ、今の原子力の状況と似ている状況になる事もあるかも知れない。

利用者からの要求について

〔前川氏〕：原研から情報が出るという状況は、これは、過去も現在もそうだったし、将来も多いだろうと思われる。原研外からのネットワークについてのご意見は？

〔山野氏〕：メーカーの立場から、公開コードの入手は原研もしくはNEDACからが原則であった。利用しやすいというためには専用回線のみでなく一般公衆回線からのアクセスポイントが必要である。例えばINIS、JOISは公衆回線とつながっており、利用手続きのみで簡単に誰でも利用できるはずだが、知らない人が多い。使えるという宣伝、キャンペーンをやって広く知らせるべきではないか。

〔富山氏（NEDAC）〕：NEDACからのキャンペーンを1つしたい。原子力コードアブストラクトをネットワーク化して来る4月一般公開する予定なので利用していただきたい。

最後に座長である河原崎氏から、「ネットワークは、難しい問題があるものの未来のある話である。openなデータの利用には大変便利になるのではないだろうか。」という言葉で締めくくられた。

要約及び文責：長谷川 明

5. 環境シミュレーションソフトの最先端- 1 -

5.1 SPEEDIの広域・高層化とチェルノブイル拡散シミュレーション

石川裕彦, 茅野政道, 山沢弘実, 森内茂 (日本原子力研究所)

要旨: チェルノブイル事故を契機に, SPEEDI (環境線量情報予測計算システム) の広域・高層化研究に着手した。この研究の中では, 風速場/移流拡散/線量計算モデルの改良と, 計算支援機能の改良が行われている。この開発研究の一環として, 改良された計算モデル, システムを用いて, チェルノブイル事故により大気中に放出された放射性物質の移流拡散計算を実施した。計算結果はモニタリング結果と良く一致した。

Extention of SPEEDI computation area and the application to Chernobyl Accident

Hirohiko ISHIKAWA, Masamichi CHINO, Hiromi YAMAZAWA and Shigeru MORIUCHI
(Japan Atomic Energy Research Institute)

Summary: In order to simulate the long-range transport of airborne radioactivity, a research program to improve the capability of SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) was started. This program includes the simulation of atmospheric dispersion of Chernobyl radioactivity. This was diagnostically simulated by refined wind field and dispersion models of SPEEDI. The predictions agreed with the monitoring data qualitatively, although there were some differences between them.

1. はじめに

原子炉事故などにより大気中に放出された放射性物質の拡散と、これによる被曝線量を計算する目的でSPEEDI（緊急時環境線量情報予測システム）⁽¹⁾が開発された。SPEEDIは当初、サイト周辺25km程度の領域及びサイト周辺100km程度の領域を対象として日本国内の原子力施設を対象にしていた。ところが1986年4月に起ったチェルノブイル事故は、非常に大きな原子力事故が発生した場合に、その影響はサイトから数千kmまでの範囲、あるいは地球規模の範囲に及ぶことを示した。このことは、単に国内の原子力施設を対象とした緊急時線量評価システムをもつのみでは不十分であり、他国で発生した原子炉事故に対してもその影響評価を迅速に行うことができるシステムが必要であることを示した。

茅野等⁽²⁾は、チェルノブイル事故時にSPEEDIを応急的に改良しサイト周辺2000km程度の範囲でのチェルノブイル放射能の移流拡散を計算し、放出量の大雑把な推定を試みた。原研ではこの経験に基づき、1987年よりSPEEDIの広域・高層化の研究に着手した。SPEEDI広域・高層化研究の概念をFig. 1に示す。この研究の目標は、大規模な原子炉事故が発生した時に、サイト周辺数千kmの領域内での放射性物質の移流・拡散、地表面沈着、被曝線量を迅速に評価する計算機能を確立することにある。この目的を達成する為に、計算支援機能の改良、計算モデルの改良の両面から研究開発を実施している。計算支援機能の改良では、既に全世界の地形/地図データを保有する世界地形データベースを作成した。また、大量の気象データを処理する為のプログラム開発が進行中である。

本論文では、この研究開発の一環として、改良された風速場計算コード、移流・拡散計算コードを用いたチェルノブイル拡散シミュレーションの結果の一部を紹介する。

2. 計算コード

2.1 風速場計算コード

風速場の計算には、3次元質量保存風速場コード(WINDO 4)⁽³⁾を広域計算用に改良したコードを用いる。このコードは、風向風速の観測データを各格子点に内挿した後、この内挿値を質量保存則を満たすように調整する機能をもつ。広域計算用には以下の3点が改良された。

- 球面を平面（計算座標）に投影する際に生じる長さの歪みの補正、
- 豊富な高層気象観測データを計算に取込む為の、観測データの内挿法の改良、
- 計算パラメータの最適化。

2.2 拡散及び線量計算コード

移流拡散方程式を解くには粒子型拡散モデルを用いる。このモデルでは、放射性雲を多数の粒子群で近似する。個々の粒子は前述の風速場計算コードで計算された3次元風速場で運ばれるとともに、大気の拡散効果に相当するランダム・ウォーク運動を行う。このランダム・ウォーク運動の強さは、一様な風速場の下でパスキル・ギフォード⁽⁴⁾の拡散幅をもつガウス型の分布形となるように調整されている。

乾燥沈着は表面沈着モデルにより計算される。このモデルでは最下層の単位格子内に存在する粒子は、その粒子の持つ放射能の一定量を地表面に付与する。このモデルは降雨による湿性沈着もまた計算する。

簡略化された線量計算モジュールが拡散モデルに付加されている。この線量計算モジュールは、放射性雲及び地表面沈着による照射線量率及び外部被曝線量をサブマージョン・モデルを用いて計算する。また、呼吸による内部被曝線量も計算する。

3. データと計算仮定

3.1 気象データ

気象データは、各国の気象管署で測定された地上風データと高層風データを用いる。観測点の分布を Fig 2 に示す。地上風データは、171カ所の地上気象観測点から6時間間隔（グリニッジ標準時の00時、06時、12時、18時）で得られる。高層データは101カ所の観測点から1日2回、00時と12時の2回得られる。今回のシミュレーションでは、850 mb 面（およそ海拔1500 m）と700 mb 面（およそ海拔3000 m）のデータを用いる。

湿性沈着の計算に必要な降水データは、上述の171カ所の地上観測点で得られる。

3.2 計算領域および地形

計算対象領域は、投影された地図上で3600 km四方の領域である。高さ方向には3000 m までとる。この計算領域を水平方向に50×50、高さ方向に20に均等に分割した計算メッシュを用いる。従ってメッシュ幅は、水平方向に72 km、高さ方向に150 mとなる。

SPEEDI の計算モデルは地形を考慮できるが、今回の計算では平坦な地形を仮定している。アルプスを除けば計算領域はほぼ平坦と見做して差し支えなく、計算結果の大筋に大きな影響は及ぼさないと考えられる。計算領域は、Fig 2 の中に破線で示してある。

3.3 拡散条件

大気境界層の厚さを2000 mと仮定し、この層内ではやや不安定な温度成層に対応する拡散係数を仮定した。また、この層よりも上では、温度成層が安定な場合の拡散係数を仮定した。この仮定により、放射性物質は大気境界層内で比較的速やかに鉛直方向に拡散するのにたいし、2000 mよりも上空では鉛直拡散は弱い。

3.4 放出源情報

チェルノブイル事故で放出された核種の中で、特に ^{137}Cs の計算を行った。放出源の形状は点源と仮定し、その高さは事故最初の9時間は1000 m、それ以降は200 mと仮定した。チェルノブイル事故の放出状況を考えるならば、空間的な広がり、特に高さ分布を考慮した立体的な放出源として扱うべきであり、放出源の形状は計算の不確かさ（uncertainty）の一つの要素となる。しかし今回の計算では大気境界層内で比較的強い鉛直拡散を仮定しているので、上述の放出源の仮定は、サイトのごく近傍を除けば、計算結果にあまり影響しない。放出率は、単位量放出（1 Bq/h）とした。

4. 計算結果

4.1 放射性雲の動き

チェルノブイルから放出された放射性雲を24時間毎の部分に分けて考え、24時間の間に放出された放射性雲それぞれについて、その移流拡散を計算した。以下では、例えば事故発生後最初の24時間（4月25日 時から4月26日 時；グリニッジ標準時）に放出された放射性雲を第1プルーム、事故2日目（4月26日 時から4月27日 時；グリニッジ標準時）に放出された放射性雲を第2プルームと記述する。Fig. 3に、第1プルームの動きを、放出開始後各日の正午（グリニッジ標準時）の粒子群の分布で示す。4月27日にはプルームの先端はバルト海中部まで達している。スウェーデン⁽⁵⁾やフィンランド⁽⁶⁾では、この日の午後から夜にかけて放射能（線）の検出が始まっており、計算結果とモニタリング結果は一致する。4月28日に入ると、プルームの北半分は東西に広がり始める一方、南半分は南西方向に移動を開始しポーランドを覆う。ポーランドでは、国土の北東に位置する測定点で早朝に放射能の検出が始まり次第に南西方向に検出域が拡大しており⁽⁷⁾、これも計算はモニタリングと一致する。4月29日から5月1日にかけては、北欧を覆っていた放射性雲は主にソビエト領内を徐々に南下する一方、ポーランドを覆っていた部分は急速に西方向に流され、チェコスロバキア、オーストリア、スイス、南ドイツ、北イタリアからフランスへ達する。5月2日になるとその先端部分は北方向に向かい、ベルギー、オランダ、英国に達する。さらに5月3日には北海を抜け、その一部はノルウェーの海岸に達している。これらの動きは各国での検出開始時期と良く一致しており、北欧、中部及び西ヨーロッパ諸国へのチェルノブイル放射能の到達状況は、第1プルームの動きではほぼ説明できる。

事故2日目の前半に放出された放射性雲は、第1プルームの中で西ヨーロッパに拡散した部分と同様の挙動を示す。また、事故2日目の後半から事故8日目までに放出された放射性雲は、ソビエト領内に留った後、4月30日以降の北寄りの風により南に流され、ルーマニア、ブルガニア、ユーゴスラビア、ギリシャ、トルコを覆い、南側及び東側の境界から計算領域のそとに出る。

事故9日目に放出された第9プルームの動きをFig. 4に示す。第9プルームは最初南へ流された後、西に動き、ルーマニア、ブルガニア、ユーゴスラビアを覆う。その後一部が北上し、5月7日にはハンガリーへ至る。さらに、ポーランドへ5月8日、スウェーデンへ5月9日に到達する。第10プルームの動きは第9プルームの動きと良く似ているが、ポーランドへは5月7日に、スウェーデンには5月8日に到達する。ストックホルムでは5月8日から9日にかけて、またブダペストでは5月7日ごろ大気中の放射能濃度の増加が測定されており⁽⁸⁾、計算結果と対応している。

全般的に見て、SPEEDIの計算結果は、定性的にはモニタリング結果と良く一致していると言える。しかし、いくつかの地点ではモニタリング結果との相違が見られる。例えば、デンマークでは4月27日⁽⁹⁾に、ノルウェーでは4月28日⁽¹⁰⁾、またトルコでは4月30日⁽¹¹⁾放射能が検出されているが、本計算ではこれらは計算されていない。

4.2 空間濃度の比較

前節では、放射性物質の移流拡散を定性的に述べた。単位放出を仮定して計算された空間濃度

に χ_i にそれぞれの日の放出率 R_i を乗じ、プルームの和をとれば、

$$C(t) = \sum_{i=1}^N R_i \cdot \chi_i(t)$$

により空間濃度が得られる。ソビエトが IAEA に提出したレポート⁽¹²⁾ から各日の ^{137}Cs の放出率を見積り、計算した大気中濃度の一部を Fig. 5 に示す。太線で示してあるのは計算結果、細線で示したのはそれぞれの都市における測定結果⁽¹³⁾⁻⁽¹⁸⁾である。

ヘルシンキやストックホルムの測定結果は大きな時間変化を示しているが、計算結果は比較的なだらかである。測定結果に見られる時間変化は、局地的な気象に影響されたものと考えられる。空間濃度の測定点は地上にある為、例えば夜間に接地逆転層が形成されている場合などには、鉛直方向の拡散が弱い為、上空に放射性物質が移流して来ても地上の測定点では検知されない。しかし、計算では 3.3 節に示したように比較的強い鉛直拡散を仮定している為、上空に移流して来た放射性物質は速やかに地上まで拡散し、有意な大気中濃度として計算される。

4.3 沈着

事故初日に放出された放射性物質により、5月3日までにヨーロッパ各地にもたらされた積算沈着量の計算値を第6図(a)に示す。チェルノブイル周辺に高い沈着濃度が計算されているが、これは乾燥沈着によるものである。スウェーデン中部、ヨーロッパ中部、スコットランド付近に見られる島状の高濃度域は、降雨沈着の影響である。Fig. 6(b)は、積算沈着量の時間変化の一例で、ストックホルム(細線)とストックホルムの北約150 kmにあるゲーブルとを比較してある。ゲーブルでは、4月29日の早朝にかなりの降雨があり、これにより地表面沈着が急激に上昇している様子が分る。

地表面沈着は降水量に大きく依存する為、地表面沈着を精度良く計算する為には、精度の良い降水量データが必要である。しかしながら、降水量は地域的なバラツキが非常に大きいので、限られた観測データを内挿して得た降水量分布に高精度を期待することはできない。今回の計算では、Fig. 2(a)に示した地上観測点データを用いて、沈着の概要を計算することができたが、実際に測定されている複雑な地表面沈着量分布を計算するには、さらに詳細な降水量データが必要である。

5. おわりに

本稿では SPEEDI の広域・高層化の概念と、チェルノブイル拡散シミュレーションの概要について簡単に述べた。チェルノブイル事故のシミュレーション結果は、定性的にはモニタリング結果と良く一致している。定量的比較の結果については、計算と測定の両者にいくつかの仮定や不確実性が含まれるために、一概に評価はできない。現在、IAEA/WMO/CECの共同研究として、チェルノブイル・データを用いた長距離拡散モデルの評価研究が計画されており、この共同研究の中で各種の計算モデルの性能とその限界がある程度明らかにされるであろう。

参考文献

- (1) Imai, K. et al.: SPEEDI - A Computer Code for Real-Time Prediction of Radiation Dose to the Public due to Accidental Release, JAERI 1297 (1985).
- (2) Chino, M. et al.: Application of the SPEEDI system to the Chernobyl Reactor Accident, JAERI-M 86-142 (1986).
- (3) Ishikawa, H.: A Computer Code which Calculate Three Dimensional Mass Consistent Wind Fiels, JAERI-M 83-113 (1983).
- (4) Gifford, F.A.: The Use of Routine Meteorological Observation for Estimating Atmospheric Dispersion, Nucl. Safety, 2, 47-51 (1961).
- (5) Kjelle, P.E.: Fallout in Sweden from Chernobyl Part 1. SSI-report 86-20 (1986).
- (6) Alvela, H. et al.: Environmental Gamma Radiation in Finland and the Influence of Meteorological Conditions after the Chernobyl Accident in 1986, STUK-A65 (1987)
- (7) Jawrowski: National Reports (Poland), IAEA Bull. Vol.28, No.3 (1986).
- (8) Andrasi, A. et al.: Monitoring the Radiation Consequences due to the Disaster at the Chernobyl Nuclear Facility, KFKI-1986-49/K (1986).
- (9) National Agency of Environmental Protection: The reactor accident at Chernobyl, USSR - Radiation Monitoring in Denmark, DK-8600332 (1986).
- (10) Pacyna, J. et al.: Air Radioactivity at Selected Stations in Norway after the Chernobyl Reactor Accident, NILU-TR-7/86 (1986).
- (11) Salo, A.: Information Exchange after Chernobyl, IAEA Bull., Vol.23, No.3 (1986).
- (12) INSAG, 1986: International Nuclear Safety Advisory Grou, "Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl accident", August 30 - September 5, 1986, IAEA, Vienna (1986).
- (13) Sinkko, K. et al.: Effective Dose Equivalent to Average Individuals in Warsaw after the Chernobyl Accident. Radiation Protection Dosimetry, Vol.20, No.4 (1987).
- (14) Jagielak, J. et al.: Effective Dose Equivalent to Average Individuals in Warsaw after the Chernobyl Accident. Radiation Protection Dosimetry, Vol.20, No.4 (1987).

- (15) Winkelmann, I. et al.: Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl, ISH-Heft 99 (1986).
- (16) Jensen M. et al.: National Report (Sweden), IAEA Bull., Vol.28, No.3 (1986)
- (17) Cambray, R.S. et al.: Observation on Radioactivity from the Chernobyl Accident, Nuclear Energy, Vol.26, No.2 (1987).
- (18) Deworm, J.P. ed.: A Comparison of the Measurements Released to the Chernobyl Nuclear Accident, BLG-595, 1987.

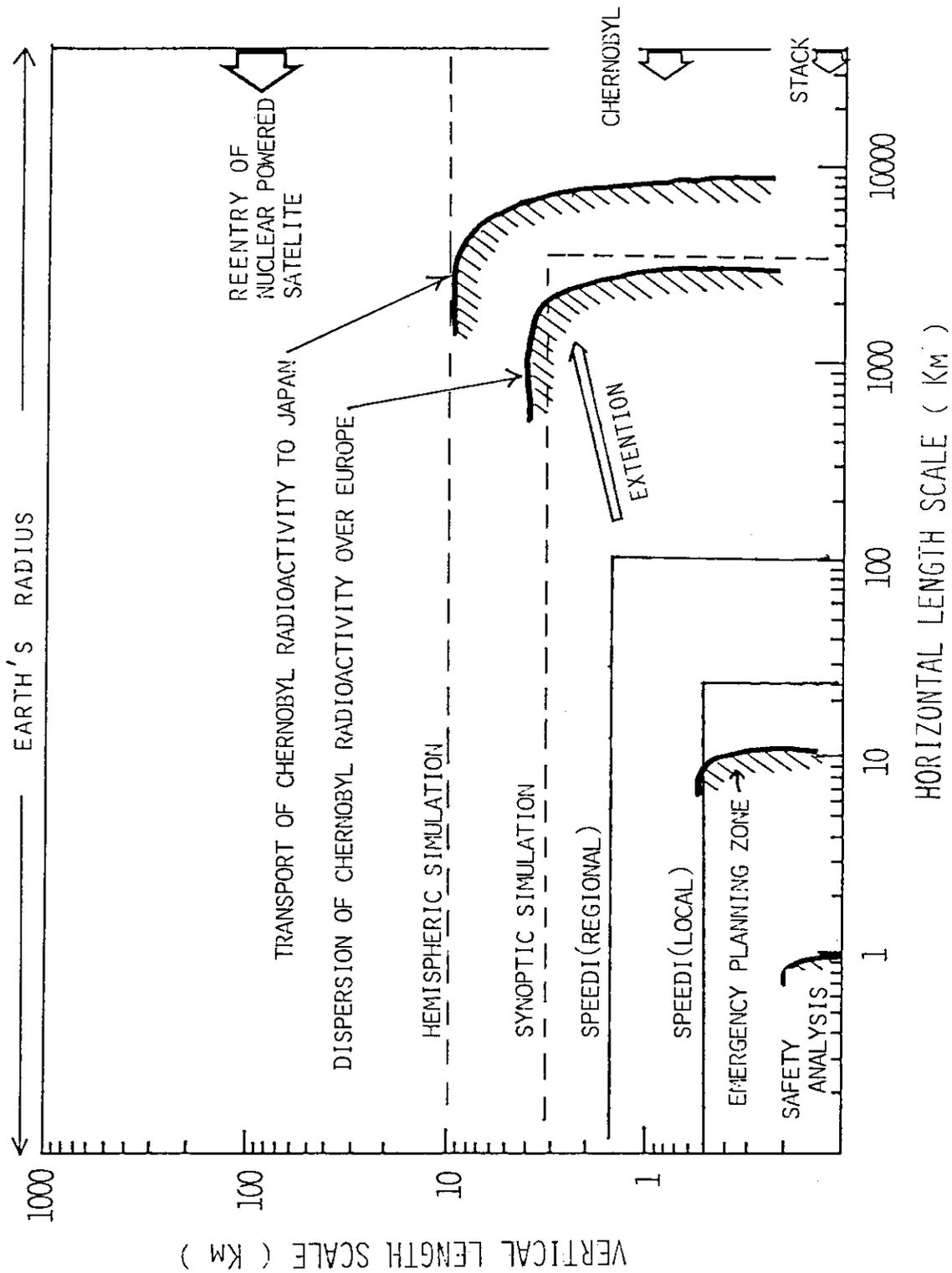
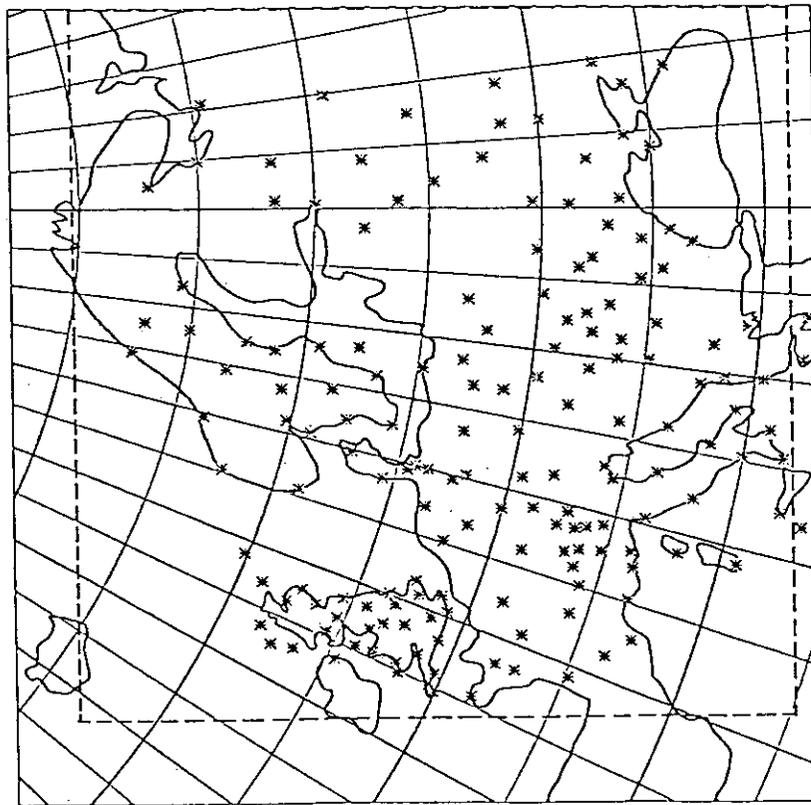


Fig. 1 The general concept of the extension of SPEEDI computational area.

(a) surface observatories



(b) aerological observatories

aerological observatories

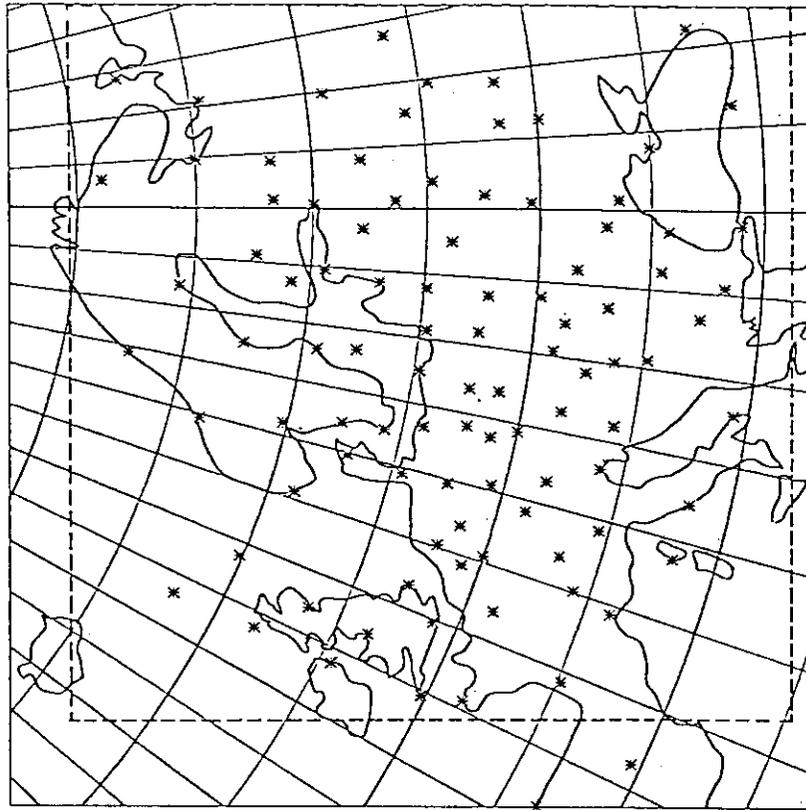


Fig. 2 The distribution of meteorological stations used in the calculation.

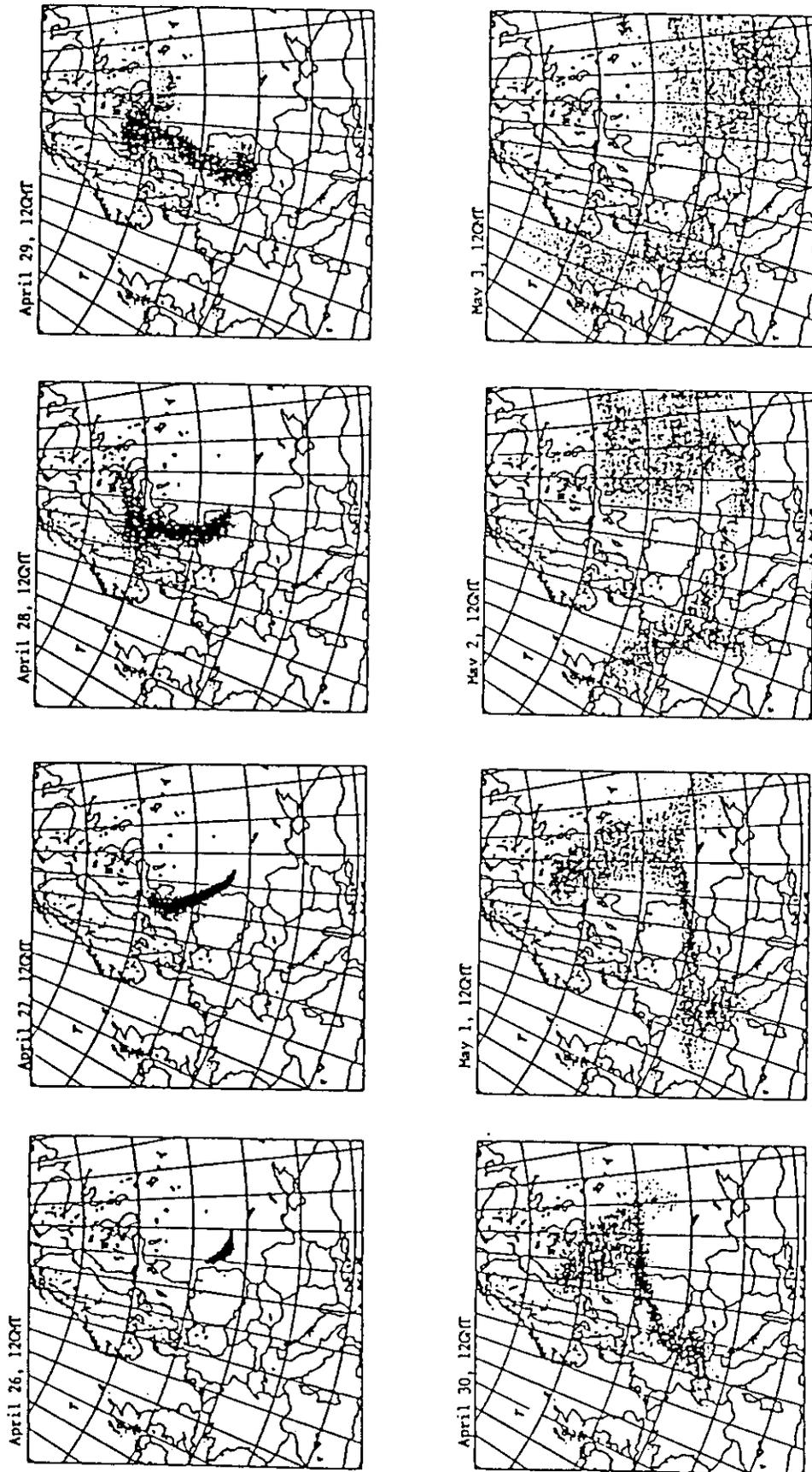


Fig. 3 Transport of marker particles released in the 1st 24 hours (The 1st plume).

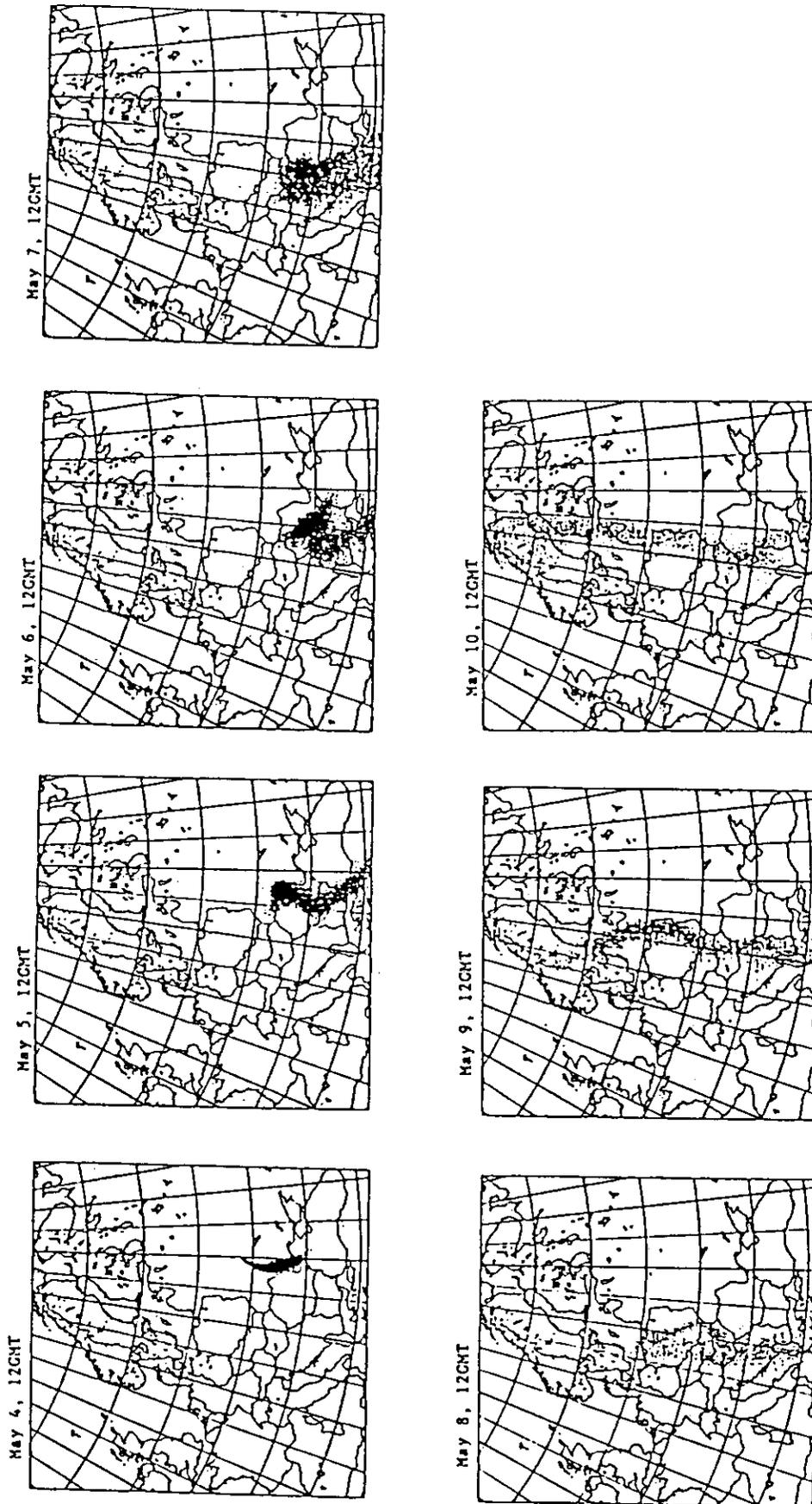


Fig. 4 Transport of marker particles released in the May 4 (The 9th plume).

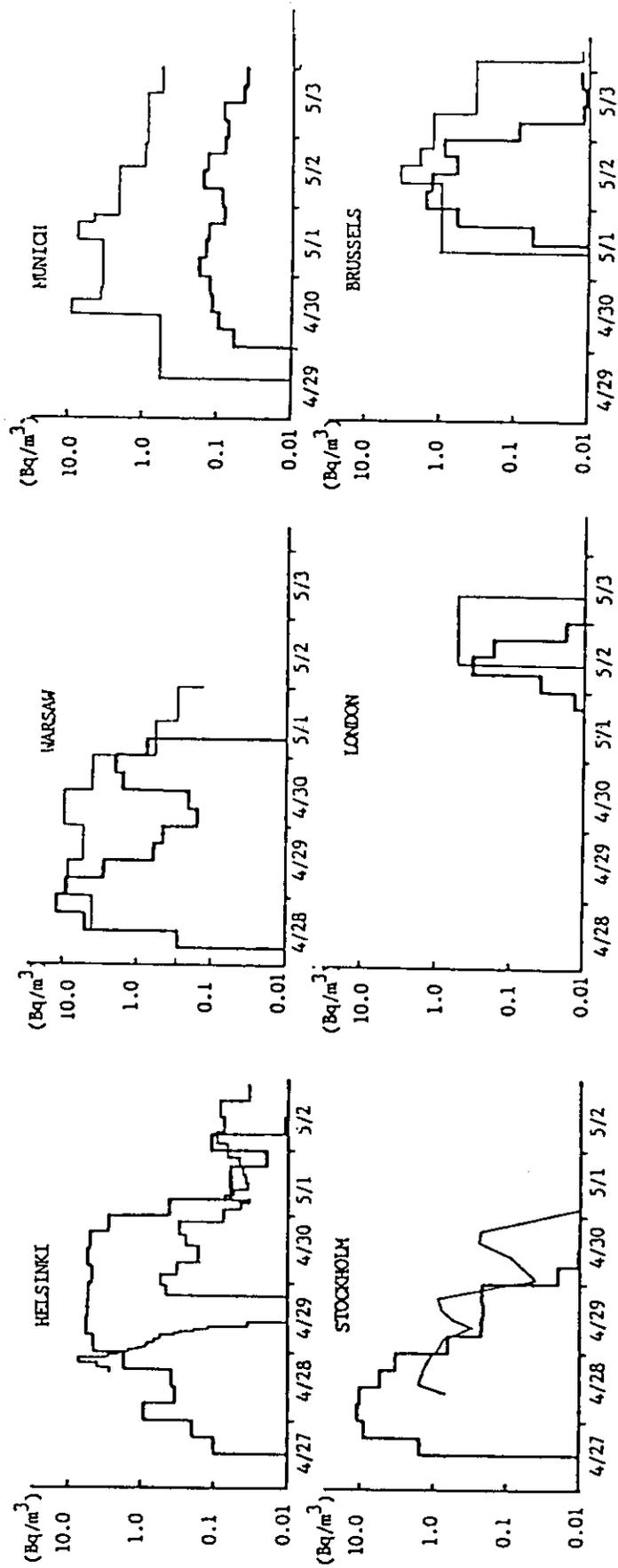


Fig. 5 Comparisons of calculated concentration (thick line) with measurements (thin line).

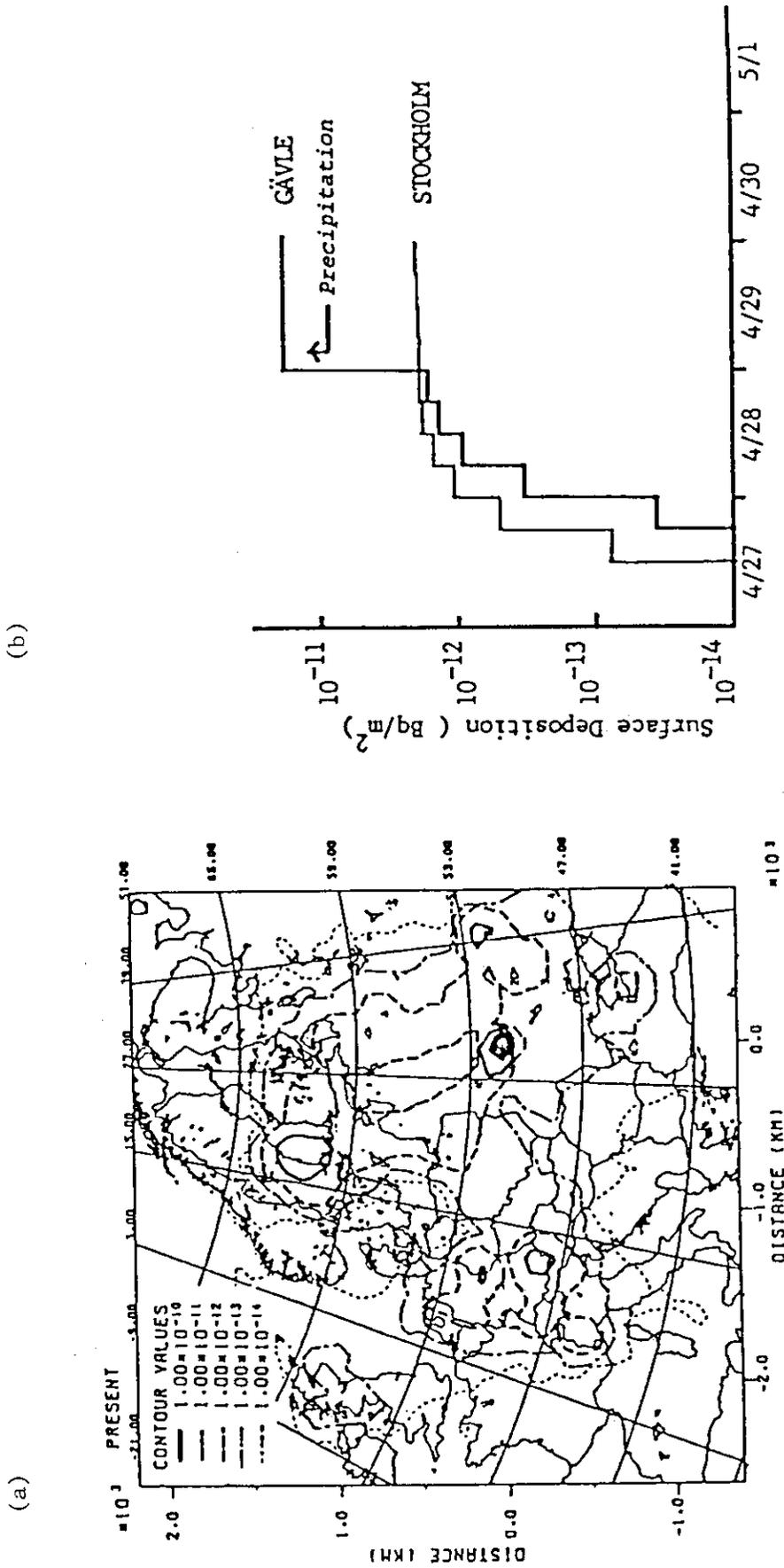


Fig. 6 (a) Accumulated surface deposition until May 3 due to the first plume and (b) temporal variations of accumulated deposition at Stockholm and Gävle. The release rate is assumed as 1Bq/h.

5.2 チェルノブイル事故による放射性物質の 地球規模拡散シミュレーション

木村富士男（気象研究所応用気象研究部）

1986年にチェルノブイリで起きた事故により、大量の放射性物質が大気中に放出され、程度の差こそあれ、北半球の大半の地域がその影響を直接受けた。放射性物質が大気中を地球規模に広がり、我が国にまで到達した過程を、シミュレーションによって再現する。シミュレーションに使われたモデルは気象庁が日々の天気予報に使っている地球規模の気象モデルが利用される。計算結果によると放射性物質は7日で我が国に到達し、その平均濃度は約 $10\text{pCi}/\text{m}^3$ である。これらの結果は実測とよく一致する。

Simulation of global scale dispersion of radioactive pollutant
from the Accident at Chernobyl

by

Fujio Kimura

Meteorological Research Institute

1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan

Abstract

In April 1986, large amount of radioactive pollutant was emitted into the atmosphere by the nuclear accident at Chernobyl, and dispersed around the world. Numerical simulation of the global scale dispersion of the radioactive pollutant was carried out using the operational meteorological model of the Japan Meteorological Agency. Calculated concentrations in many places in the world agree well with those observed. The numerical model showed that the radioactivity reached Japan about seven days after the accident with the maximum concentration of about $10\text{pCi}/\text{m}^3$, in agreement with observations.

Keywords: numerical simulation, dispersion, global scale, Chernobyl, radioactive pollutant,

1. はじめに

1986年4月26日、現地時間で午前1時頃、ソ連チェルノブイリ原子力発電所において、史上空前の大事故が発生し、大量の放射性物質がばらまかれた。放射性物質は世界中に広がり、我が国でも検出された。しかしこの不幸な事件は、汚染質の長距離輸送の研究にとっては、有効な検証データを与えることとなった。拡散過程の数値シミュレーションはすでに Chino, et al.¹⁾, Davidson, et al.²⁾、及び著者等³⁾などにより行われている。また、この事故は汚染質の地球規模の輸送過程だけでなく、乾燥沈着, rain out, wash out といった酸性雨の問題にとって重要な諸過程の研究についても貴重なデータをもたらすこととなった。この報告はチェルノブイリ原子力発電所の事故により放出された放射性のガス状あるいは浮遊粒子状物質（以下放射性物質と略す）が、大気中を地球規模にひろがり、我が国にまで影響を及ぼした過程を、著者等のシミュレーションによって再現した結果を紹介し、さらに、感度解析により乾燥沈着の重要性について論じる。また最近の文献で論じられているこの事故に伴う rain out についても言及する。

2. チェルノブイリ事故

ソ連政府⁴⁾は事故による放射能の放出量を図1のように発表している。縦軸は MCi (メガキュリー)、ただし 1 Ci は 3.7×10^{10} Bq である。横軸は日付が目盛ってある。また崩壊による放射能の時間変化については5月6日の時点に換算されている。また、この図に示されている発生量には希ガスは含まれていない。

一般に原子炉の事故により、特に大気中に放出されやすい放射性物質は、ガス状物質（放射性のキセノン、クリプトンなど）とヨウ素などの揮発性物質である。この事故においても、Gudiksen⁵⁾が環境濃度から逆算した放出量の推定値によれば、希ガスの¹³³Xe（半減期は約5日）が99 MCi、¹³¹Iが36 MCi（同8日）、¹³³Iが9.1 MCi（同0.8日）、¹³²Teが5.3 MCi（同3.2日）、¹³⁷Cs（同30年）が2.4 MCiとされている。つまり希ガスを除けば、事故後1～2週間では環境中の主要な放射性物質はヨウ素と考えることができる。大気に放出されたヨウ素は気体とエアロゾルの2つの相が共存し、気体ヨウ素は徐々にエアロゾルに変質すると考えられている。しかし、エアロゾルについても粒径が小さいので、地表への乾燥沈着や、雨による除去過程を除けば、大気中の輸送に関してはガスと同じように扱える。

事故による放射性物質の放出高度については、不明の点が多い。ソ連政府は事故直後は1300m以上の高さに放射性物質は吹き上がり、その後はもっと下層に放出されたと発表している。Gudiksen, et al.⁵⁾は、世界の観測値より、爆発直後は放射性物質の一部は4500m位まで上がり、残りは地上から1500mまでの高さに放出されたと推定している。Wheeler⁶⁾は、気象データや北歐での飛行機観測から、3000mより上には上昇していないとしている。これらの限られた情報から推定すると、放射性物質の大半は1500m程度の日最高の混合層高度の中に放出されたと考えられる。

この計算では、放射性物質の放出高度を1000mに仮定し、さらに上昇高度の変動を考慮し、500mの鉛直方向の初期拡散幅を仮定した。はじめの計算では乾燥沈着による除去は考慮しない。

3. 数値シミュレーションの方法

シミュレーションに用いた数値モデルは、図2の流れ図に示すように2つの部分から成っている。第一は気象のモデルで、事故が起こってから放射性物質が世界中に広がるまでの気流と乱流の状態を再現する。第二は拡散モデルで、放射性物質の移流・拡散を再現する。

第一の気象モデルには気象庁の日々の予報業務で使用されている「12層全球スペクトルモデル」を使用する。このモデルについての詳しい記述はKanamitsu et al.⁷⁾により報告されているが、ここではこのモデルに関して、以下の議論に最低限必要な概要について述べる。モデルでは大気を12層に分割し、地球全体の気流や気温などを球面調和関数に展開し、その球面調和関数の満たす運動方程式を時間積分することにより、予報を行う。

運動量や気温・湿度の境界層内における乱流拡散による鉛直フラックスは、それぞれの鉛直傾度と拡散係数の積で表せる。拡散係数は大気安定度の関数として与えられる。モデルの基礎方程式につかわれている鉛直座標は実際の高さでなく、気圧が用いられている。従って、座標系は空間に固定されたものではなく、大気の運動により変化しうる。しかし、この事により、大気を記述する方程式が大幅に簡単になる。地面での扱いを簡単にするため、後にも述べるように、実際のモデルでは気圧を地上気圧でわった量、 σ が使われる。

気象モデルの初期値は世界各国ではゾンデなどにより観測された気象データをもとに設定される。モデルの予報精度は5～6日で低下するとされているが、ここでは精度を維持するため、シミュレーションは2日で打ち切り、新たな初期値を読みこんで計算を続ける。計算結果は2時間毎に出力され、ディスク上に蓄えられ次の拡散計算に使用される。

拡散モデルにはRandom-walk モデルを適用する。このモデルは基本的には流跡線解析と同じく、流れにより輸送される粒子の座標を計算する方法であるが、一度に多量の粒子を考え、一つ一つの粒子の運動には乱流拡散に対応したランダムな運動を加える。たとえば鉛直拡散係数が一様に K_z のとき、乱流拡散により高さ z にあった粒子は Δt 後には

$$z(t + \Delta t) = z(t) \pm \sqrt{2 \Delta t K_z}$$

に位置が移る。ここで複号はランダムに正負いずれかが取られる。 K_z が一定のとき、粒子の数が十分多く、また時間ステップ数を十分多くとると、粒子も密度は拡散方程式の解析解に一致する。しかし K_z が高さ方向に変化していると、濃度傾度がないのに、フラックスが生じる事がある。この誤差を避けるための工夫が必要になるが、これについての詳しい議論はここでは省略する。この点に関してはKimura and Yoshikawa³⁾を参照していただきたい。水平方向の乱流拡散は、鉛直方向の拡散と風の鉛直シアーにより生じる間接的な水平拡散にくらべて小さいと考えられるので無視できる。

モデルの中で発生させる粒子数は全期間の総計で約1万個、1個当たりの放射能は 5×10^3 Ciである。

4. 結果

図3以降に粒子の位置のプロットを示す。総ての粒子を地面に投影してある。28日の0時には早くもバルト海を渡りフィンランド、スウェーデンの一部に達する(図3a)。フィンランド上空に達した放射性物質の一部は、強い西風によって東へ移動を開始する。この西風は26日から28日にかけてシベリア北西部をゆっくり東へ移動した強い低気圧によるもので、シベリアを横断し、バイカル湖の東までつづいている。放射性物質の一部はシベリア上空の風により、5月1日00Zにはバイカル湖の上空を通過する。また4月30日、5月1日ごろには発生源付近にあった放射性物質の一部も強い西風により、先に東へ流れていった放射性物質と合流する。

5月1日には、シベリア北部を東進してきた低気圧の一部が分かれて南下し、シベリア東南部からサハリン・北海道付近を通過し、3日には太平洋上にぬける。この低気圧の西側に吹く北風により、放射性物質は南下し、5月2日には朝鮮半島の根元、3日(図4)には我国の上空に達する。図5はグルニッジ時間で4日12時における粒子の鉛直東西面への投影図である。図の縦軸は σ で示されている。 σ は前に述べた気圧を地上気圧で割った量で、モデルではこれにより高さが記述されている。 σ が1のとき地上、0.9がほぼ1km、0.5がほぼ5kmの高さに相当する。図によると、汚染大気がシベリア上空を横断する高度は2kmから4kmくらいである。また、この時刻には我が国周辺では地上から4kmくらいの高さまでが、ほぼ一様に汚染されている。

しかし、このようにして我が国の方面へ輸送された放射性物質の量は全体から見れば僅かであり、大部分は東ヨーロッパを中心とした地域にとどまる。事故直後スカンジナビア半島に流れていった放射性物質は、4月29日には、ごく一部が北上を続けグリーンランド方面に抜けるものの、大部分は拡散しながら南へ逆戻りを始め、5月1日、2日にはソ連国内や東ヨーロッパの国々を汚染する。3日にはイタリア、フランスなどの西ヨーロッパ諸国にも重大な影響を及ぼす。また、4日には黒海上空は放射性物質で覆われる。5月9日(図6)には放射性物質の一部は北大西洋を西に進み、また他の一部は我が国上空よりさらに東へ進み、低濃度ながらアメリカ大陸へ達する。このころになると、低緯度をのぞくと、北半球のほぼ全域が汚染されたことになる。

5. 各国で測定されたデータとの比較

図7にモデル計算による地上の放射性物質の濃度(地上~3kmまでの平均)と実測されたデータの比較を示す。図のS, F, Eで示されている短い線は、それぞれスウェーデン、フィンランド、イギリスで測定された濃度の最高値とその出現した日を示す。測定にはいずれも希ガスは含まれていない。図にJで示されている折れ線は東京で観測された日別値、Bの折れ線はバルト海の上空500mで観測された値である。図にs, f, e, b, jで示されている範囲内でのシミュレーションによる平均濃度であり、それぞれスウェーデン、フィンランド、イギリス、バルト海、日本周辺である。バルト海については観測に対応する第二のピークのみを示している。

イギリスにおいて、シミュレーションでは5月2日以降かなりの過大見積りとなっているほかは、ひと桁程度の誤差の範囲でよく一致している。また、Uematsu, et al.⁸⁾は5月の6日から14日にかけて、北太平洋の各地で、 ^{131}I や ^{137}Cs を観測したと報告しているが、この時期は上記

の計算とはほぼ一致している。

6. 感度解析と考察

放射性物質の乾燥沈着の効果や、放出高度や気象データの精度が計算結果にどの程度の影響を与えるかを調べた。表1は感度解析のパラメーター表である。「CONTROL」は、上に示した計算結果であり、「乾燥沈着」は沈着速度 0.5 cm/s を仮定したとき、「水平初期拡散」では放出源に水平的な大きさを与えた。これは予測された風の場合が持つ不確定さの感度を推定する上で参考になる。「煙源高度 2 km 」、「煙源高度 3 km 」及び「地上源」は放出源高さの感度を調べるのが目的である。

表2は感度解析の結果を示す。表は各地域において各runの濃度が「CONTROL」runに比べて何倍になっているかを示している。最も大きく変化しているのは、煙源高度を 3 km に上げたときの極東地域の濃度である。これは放射性物質が上層の偏西風に乗りやすくなるためである。これに対して、逆に放出源高さを地上まで下げた場合は、濃度はあまり変わらない。地上から 1500 m 位までの混合層内の拡散が盛んなためである。

乾燥沈着の効果は、イギリス、スウェーデンで大きいものに対し、極東地域ではほとんど影響されない。前者では、放射性物質がおおむね混合層内を輸送されるのに対し、極東へはもう少し上層の自由大気中を運ばれたためである。前節でイギリスで過大見積りになった理由の一つはここにある。

ヨウ素の乾燥沈着については古くから実験により調べられているが(US Atomic Energy Commission⁹⁾、データはかなりばらついているうえ、地表状態により大きく異なると考えられている。ヨウ素の沈着速度は草地や土ではだいたい 0.3 ないし 2.0 cm/sec の範囲のデータが多い。またエーロゾルの ^{137}Cs についてはもうすこし小さいとされている。

Clark and Smith¹⁰⁾ はイギリスでのチェルノブイリ事故による土壌汚染を詳しく調べ、ヨウ素やセシウムの乾燥、及び湿性沈着速度を調べている。ここで湿性沈着とは雨による除去であり、rain out と wash out の両方を含んでいる。図8は ^{137}Cs の土壌への全沈着量である。顕著に局所的な分布をしている。一方、図9は5月2日から4日までに降った雨量の分布である。セシウムの沈着量と雨量の分布は良く一致し、湿性沈着が乾燥沈着を大きく上回っていることがわかる。これに対し、 ^{131}I の沈着量は地域的偏りが小さく、相対的に乾燥沈着が重要であったことが知れる。彼らは ^{131}I 及び ^{137}Cs の乾燥沈着速度としてそれぞれ 0.3 及び 0.05 cm/sec を得ている。

7. おわりに

放射性物質の移流拡散のシミュレーションにより、地球規模の挙動を大まかに説明することができた。また放出高さやその位置、あるいは乾燥沈着の結果に対する感度を明らかにすることができた。しかし、乾燥沈着と並んで雨による除去が重要であることも、指摘されている。数値モデルによって雨による除去を扱うのは、雨量分布の正確な把握、除去速度の推定などの難しい問

題がある。しかし、例えば国際的な問題になっている酸性雨などのシミュレーションを実施するにはこれらの過程を正しく把握する必要があり、そのためにもこの事故により得られた情報をさらに有効に活用する必要がある。

References

- 1) Chino, M., H. Ishikawa, H. Yamazawa and S. Moriuchi, 1986: Application of the SPEEDI System to the Chernobyl Reactor Accident JAERI-M 86, 142, Japan Atomic Energy Research Institute.
- 2) Davidson, C.I., J.R. Harrington, M.J. Stephenson, M.C. Monaghan, J. Pudykiewicz and W.R. Schell, 1987: Radioactive Cesium from the Chernobyl Accident in the Greenland Ice Sheet, *Science*, 237, 633-634.
- 3) Kimura, ., 198 : Simulation of Global Scale Dispersion of Radioactive Pollutants from the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant., *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 489-495.
- 4) USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, 1986: The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences, Information compiled for the IAEA Expert's Meeting, 25-29 August 1986, Vienna, translated into Japanese by the Agency for Science and Technology, pp.310.
- 5) Gudilsen, P.H. and R. Lange, 1986: Atmospheric Dispersion Modeling of Radioactivity Releases from the Chernobyl Event. UCRL-95363, Lawrence Livermore National Laboratory.
- 6) Wheeler, D.A., 1988: Atmospheric Dispersal and Deposition of Radioactive Material from Chernobyl, *Atoms. Environ*, 22, 853-863.
- 7) Kanamitsu, M., K. Tada, T. Kudo, N. Sato and S. Isa, 1983: Description of the JMA Operational Spectral Model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91, 812-828.
- 8) Uematsu, M., J.T. Thomas, L. Patterson, R.A. Due and J.M. Prospero, 1988: Aerosol Residence Time and Iodine Gas/Particle Conversion over the North Pacific as Determined from Chernobyl Radioactivity. (submitted to *Geochem. J.*).
- 9) U.S. Atomic Energy Commission, 1968: 'Meteorology and Atomic Energy', pp.445.
- 10) Clark, M.J. and F.B. Smith, 1988: Wet and Dry Deposition of Chernobyl, *Nature*, 332, 245-249.

表1 感度解析パラメーター表

CASE	煙源高度	鉛直初期拡散幅	水平初期拡散幅	乾燥沈着速度
CONTROL	1 km	500 m	0	0
乾燥沈着	1 km	500 m	0	0.5 cm/s
水平初期拡散	1 km	500 m	100 km	0
煙源高度 2 km	2 km	500 m	0	0
煙源高度 3 km	3 km	500 m	0	0
地上源	10 m	0	0	0

表2 感度解析結果, Control Run に対する倍率

CASE	スウェーデン	イタリア	イギリス	極東
DATE	4月29日	5月3日	5月5日	5月5日
CONTROL	1.0	1.0	1.0	1.0
乾燥沈着	0.34	0.62	0.19	1.0
水平初期拡散	0.77	0.94	1.86	3.8
煙源高度 2 km	0.75	0.79	0.84	3.0
煙源高度 3 km	0.29	0.46	0.56	50.0
地上源	1.06	0.97	1.16	1.0

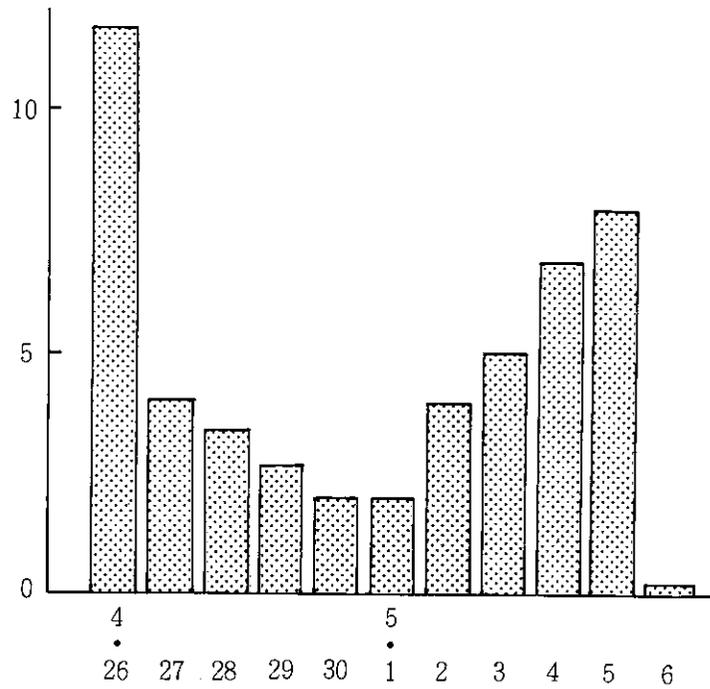


図1 ソ連政府の発表した放射性物質の放出量，希ガスは除外，また崩壊については5月6日に換算

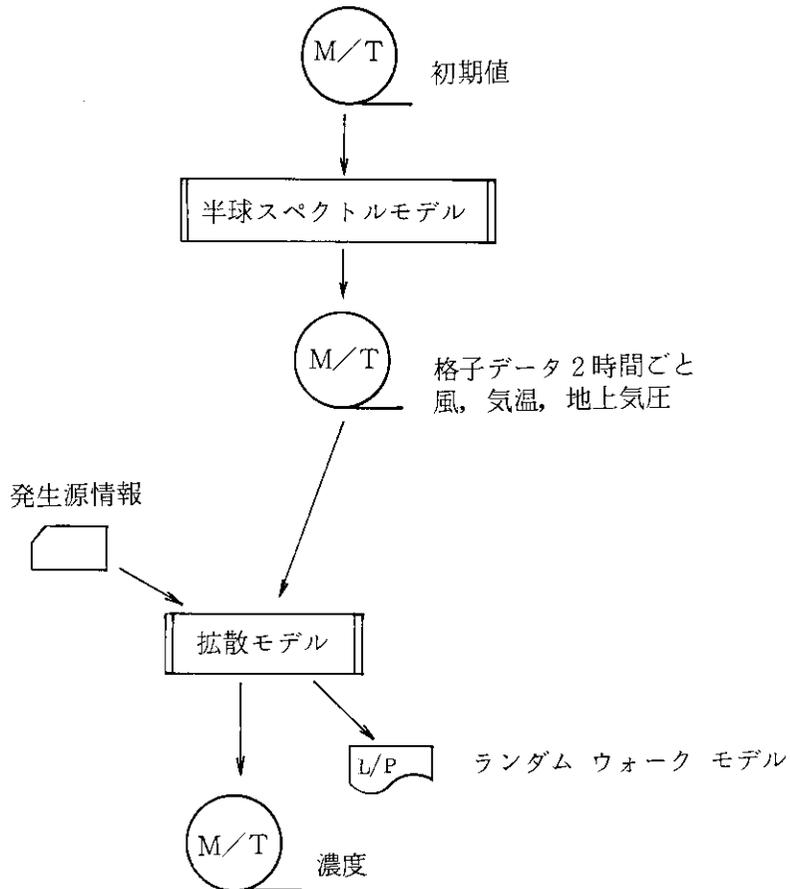


図2 シミュレーションの流れ図

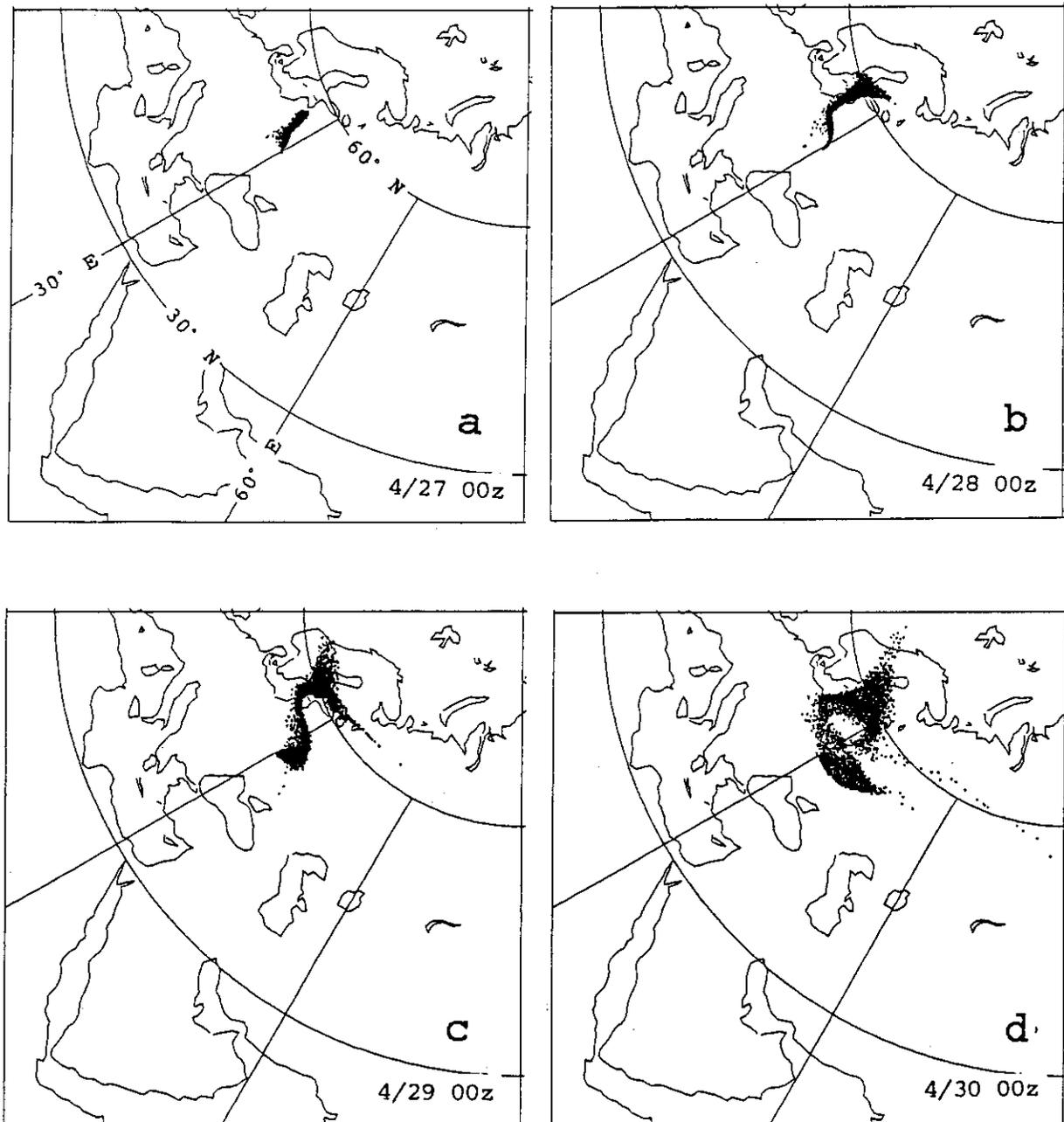


図3 シミュレーションによる仮想粒子の分布, a: 4月27日0時(グリニッジ時間),
b: 28日, c: 29日, d: 30日

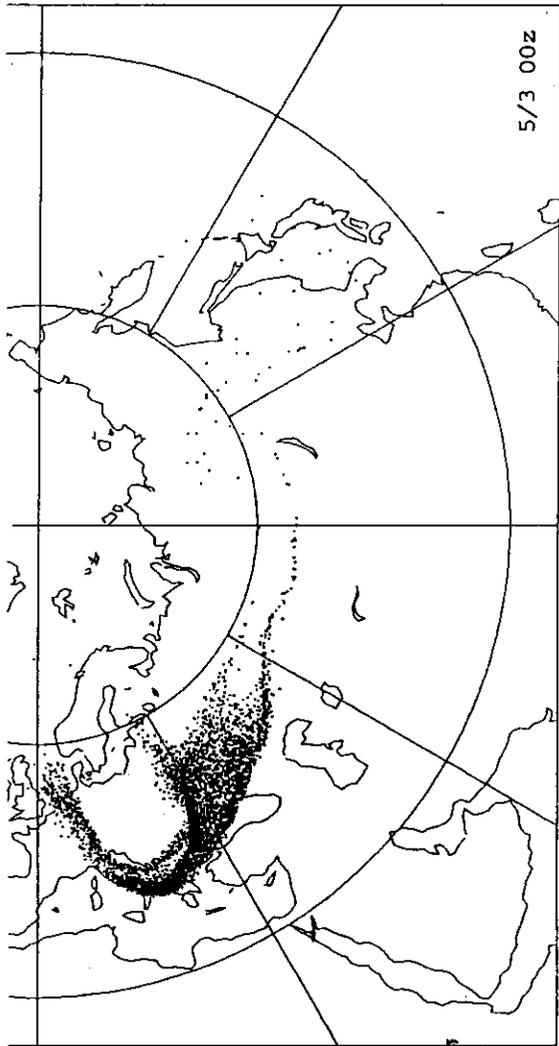


図4 5月3日の水平分布

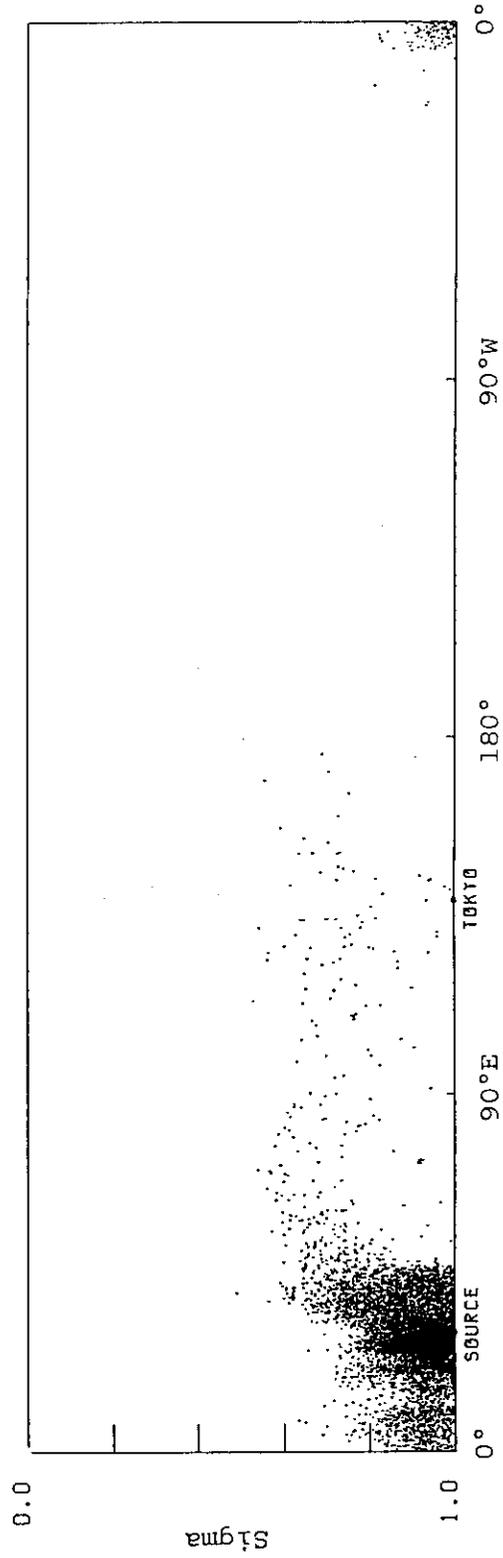


図5 5月3日の東西鉛直面射影図

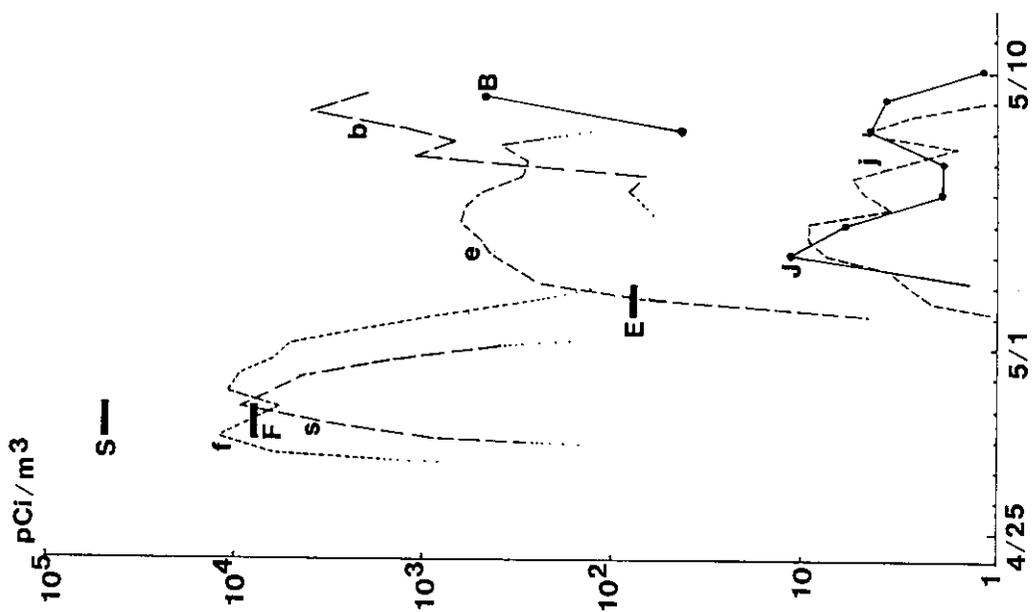


図7 実測された放射性物質濃度 (S, F, E, B, J はそれぞれスウェーデン, フィンランド, イギリス, バルト海, 日本) と対応する計算値 (s, f, e, b, j).

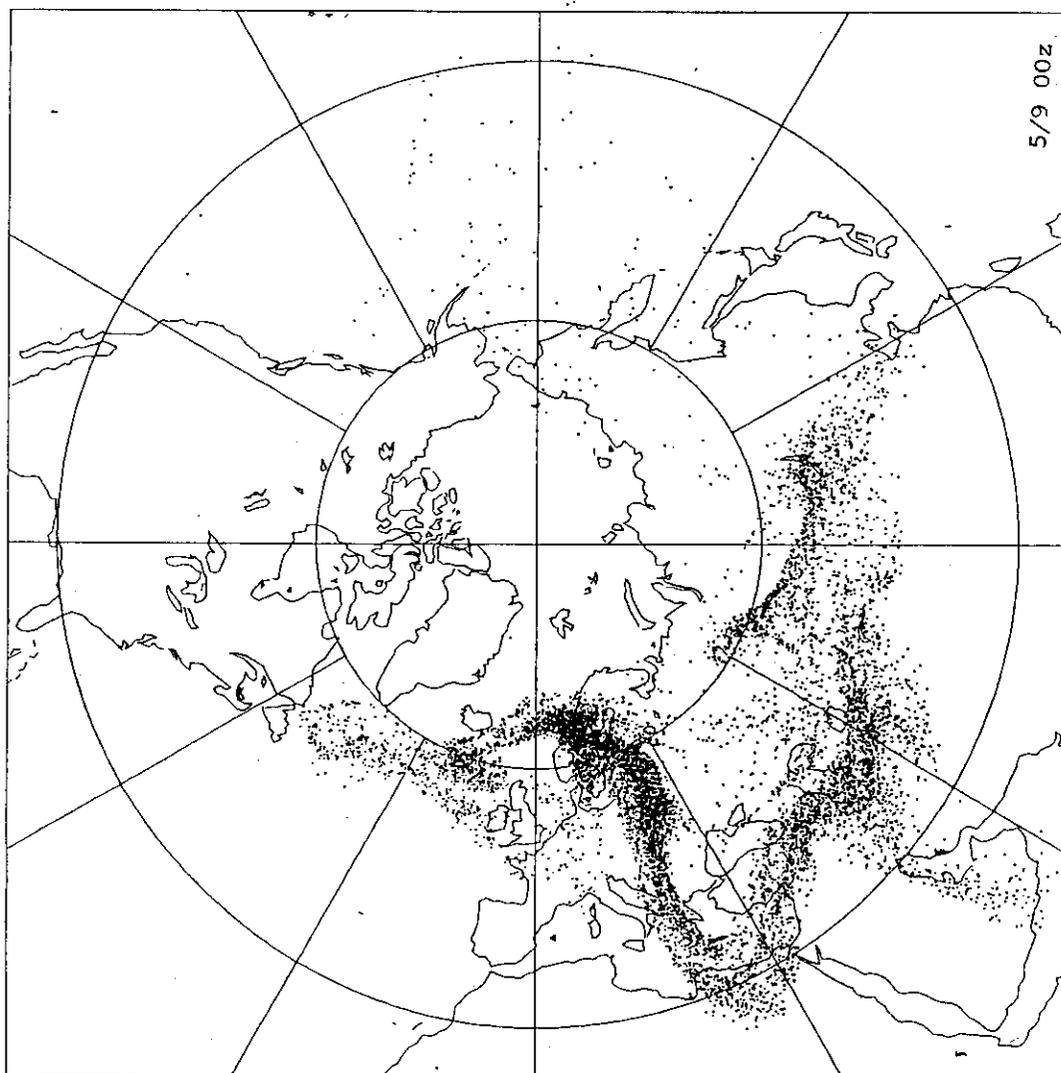


図6 5月9日の水平分布

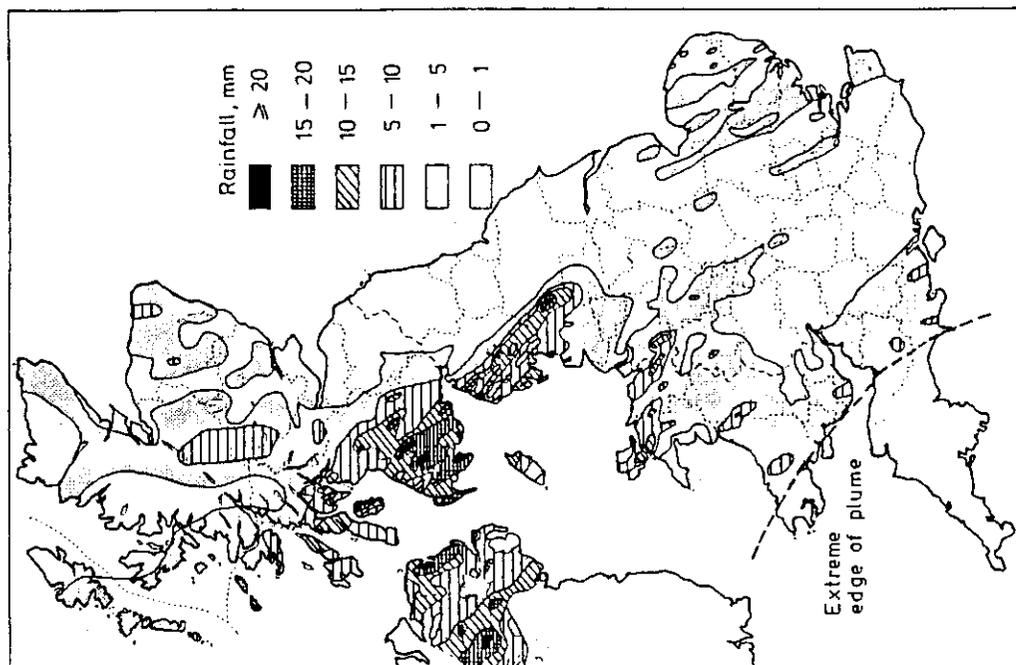


図9 イギリスにおける5月2日から4日の雨量
(Clark et al.¹⁰⁾より)

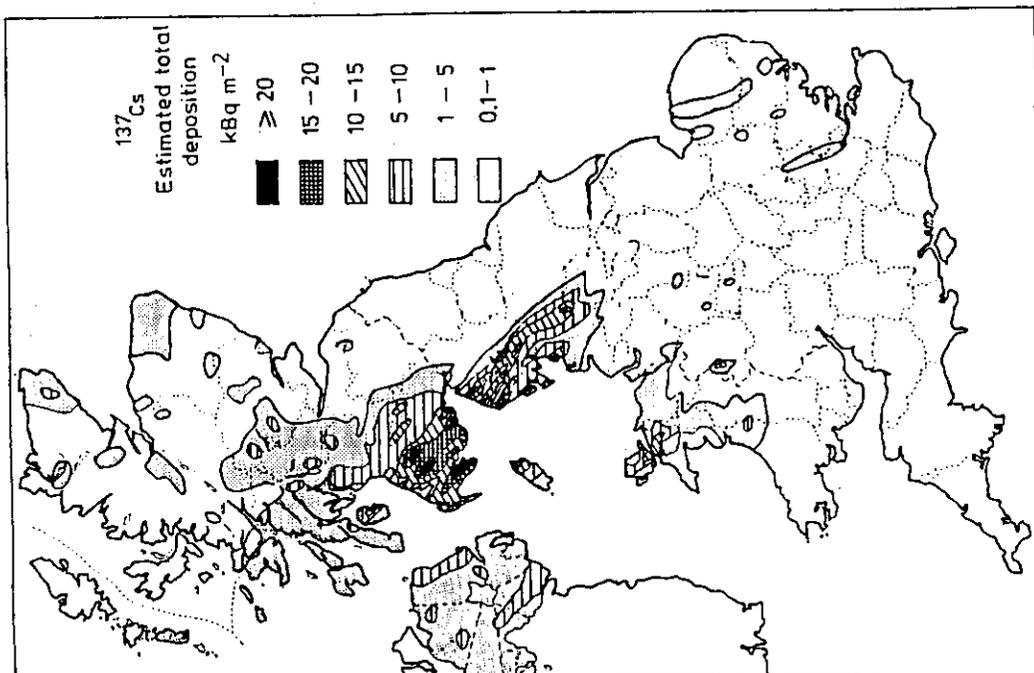


図8 イギリスにおける¹³⁷Csの全沈着量
(Clark et al.¹⁰⁾より)

6. 環境シミュレーションソフトの最先端- 2 -

6.1 排液の海洋拡散シミュレーション

(財) 電力中央研究所 片野 尚明・水鳥 雅文・仲敷 憲和

再処理施設で発生した低レベルの放射性排液は、放流管によって希釈効果が十分に期待できる沖合い領域へ放出される。この排液の濃度分布を予測することは、再処理施設の安全評価にとって重要な課題の一つとなっている。

しかし、放射性排液の海洋拡散予測手法は、内外の調査からまだ充分確立していないことが明らかとなった。そこで、従来当所が発電所から放出される温排水の拡散に対して開発してきた数値モデルを活用して、放射性排液の海洋拡散に関する実用的な予測手法を完成させた。

本報告は、この研究開発で得られた成果のうち放射性排液に対する海洋拡散予測手法の基本的な考え方、予測手法として採用した数値モデルの内容およびそのモデルの適用等についてとりまとめたものである。

Simulation of Oceanic Diffusion for Radioactive Effluent Released from the Nuclear Fuel Reprocessing Plant

Naoaki KATANO, Masafumi MIZUTORI and Norikazu NAKASHIKI (CRIEPI)

The low level waste water from the nuclear fuel reprocessing plant is released into the offshore sea, where the effluent from the reprocessing plant is sufficiently diluted by sea current and oceanic turbulence. It is very important in the Gavamental safty examination program to estimate the impact of radioactive effluent in marine environment.

However, according to the literature survary and the overseas inquire commision, very few simulation models have been proposed to estimate the ocianic diffusion for radioactive releases. On the basis of the numerical model for dispersion of heated water discharges released from power plants, the numerical simulation model has been studied to accurately estimate the disparsion of radioactive effluent from the nuclear fuel reprocessing plant in the coastal area.

The basic concepts of the numerical simulation method in predicting the oceanic diffusion for radioactive effluent, the numerical model and its applications for the site are presented in this paper.

KEY WORDS : nuclear fuel reprocessing plant, radioactive effluents, oceanic diffusion, numerical model, hydraulic model test.

1. まえがき

再処理施設で発生した低レベル放射性排液は、海水の希釈効果が充分期待できる沖合海域へ放出される。この排液の濃度分布を予測することは、再処理施設の安全評価にとって重要な課題の一つとなっている。

しかし、最近の数値シミュレーション手法の進歩を取り入れた放射性排液の拡散予測手法は、内外の調査からまだ充分確立してないことが明らかとなった。そこで再処理施設建設計画の支援技術の一環として、従来当所が発電所からの温排水拡散に対して開発してきた数値モデルを活用して、昭和59年度より排液拡散予測手法の開発に着手し、現在、実用的な予測手法をほぼ完成させた。

本報告は、この研究開発で得られた成果のうち、放射性排液に対する海洋拡散予測手法の基本的考え方、予測手法として採用した数値モデルの内容およびそのモデルを用いたシミュレーション結果について紹介するものである。

2. 排液拡散予測の考え方

2.1 海域中での排液挙動

再処理施設から海域に放出される放射性排液は、放流管によって沖合海域へ輸送され、そこから放流管ノズルによって鉛直上向きに高速で噴出される。Fig. 1は排液拡散過程のメカニズムを模式的に示したものである。まず、海域中に放出された排液は、周囲海水より軽い噴流状の流れの形態をとるためプルーム(Plume)と呼ばれ、周囲水を連行して混合希釈し、排液濃度を低減しながら海面へ向かう。その際、海域の流れや密度成層(水温分布等)の影響を受けてプルームの経路は曲げられ、その混合希釈過程は三次元的な挙動を示す。

つぎに、海面に達した後(密度成層があると海面に到達しない)の排液は、沿岸流による移流と乱れによる拡散によって主に平面上に拡散されるとともに、放射性物質が細粒子の浮遊物質に吸着して、それが沈殿して海底土へ移行する作用も生じる。また、排液が海底土に接触する場合には放射性物質が海底土に直接移行する。一方、海底土は流れや波の作用により移動することも考えられ、海底土に移行した放射性物質は移流・拡散の作用を受ける。

このように、海域中の放射性物質は放水ノズル近傍では水理学的な放水条件と海象条件に支配されるが、遠方領域では、海域の流れや乱れの他に浮遊物質や底質への移行挙動を考える必要がある。

2.2 拡散予測のフロー

Fig. 2は排液拡散予測のフロー図を示したものである。一般に、上述の拡散過程を一度に予測することは、現状では手法の面でも非常に困難であり、また現象を支配している因子や時・空間のスケールが異なるため、得策でないと考えられている。そこで、Fig. 2には示したように初期のプルーム拡散過程(近傍領域)と、排液が海面に到達した後の海洋拡散過程(遠方領域)とに分けて、それぞれの領域に適した手法やモデルを用いて検討することとした。

まず、プルーム拡散過程においては、放水口諸元や放流速等の放水条件と海域流動や密度成

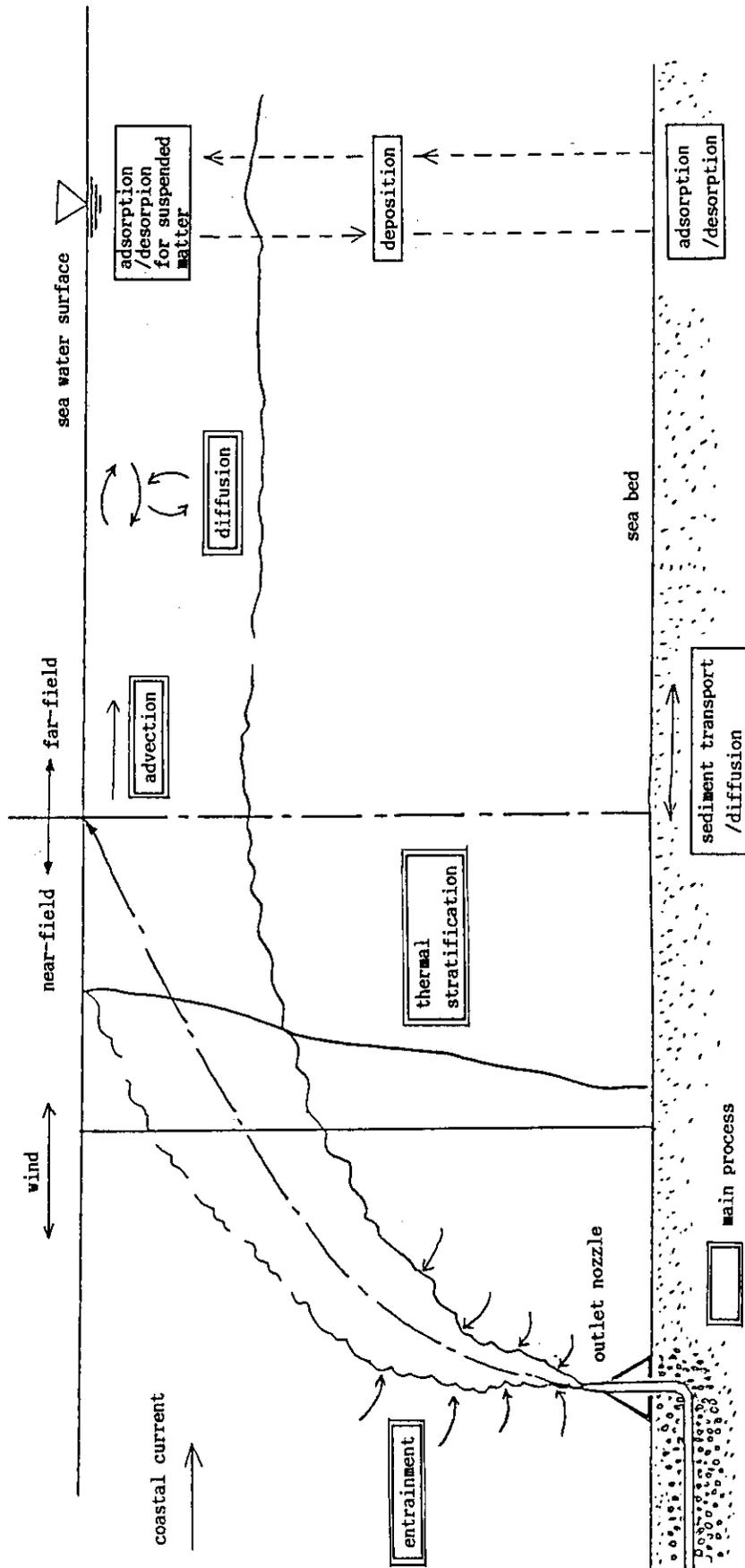


Fig.1 Mechanism on Effluent Diffusion.

層等の海象条件が支配的であり、これらを模擬するためには、現在、物理模型による水理実験と数値モデルによるシミュレーション計算の二つの方法がある。このうち、数値モデルによる手法が放出条件や海象条件の変化に対して柔軟な対応が期待できるため主手法に位置付け、水理実験手法は数値シミュレーション結果の検証データに用いることにした。採用する数値モデルとしては、三次元モデル（三次元平均値モデル）とする。

つぎに、遠方領域においては水平方向の拡散現象が卓越するものとして、排液の含まれる厚さが流下方向に保持されるという保守的な仮定の基に平面二次元の単層モデルを用いる

ことにした。このモデルの採用に当たっては近傍領域と遠方領域の接続点、つまり排液プルームが海面に到達して水平拡散領域に移行する位置に仮定の放水口を設ける必要がある。その放水口での入力値は、海面に到達した位置でのプルームの濃度、流速、およびプルームの幅・厚さであり、それらの値は三次元モデルによる数値シミュレーション結果から決定する。遠方領域の濃度分布を求めるには、当然のことながら対象地点の地形や流動特性が必要となる。特に、流動特性をモデル化し、シミュレーション計算によってその再現を図ることが重要となる。

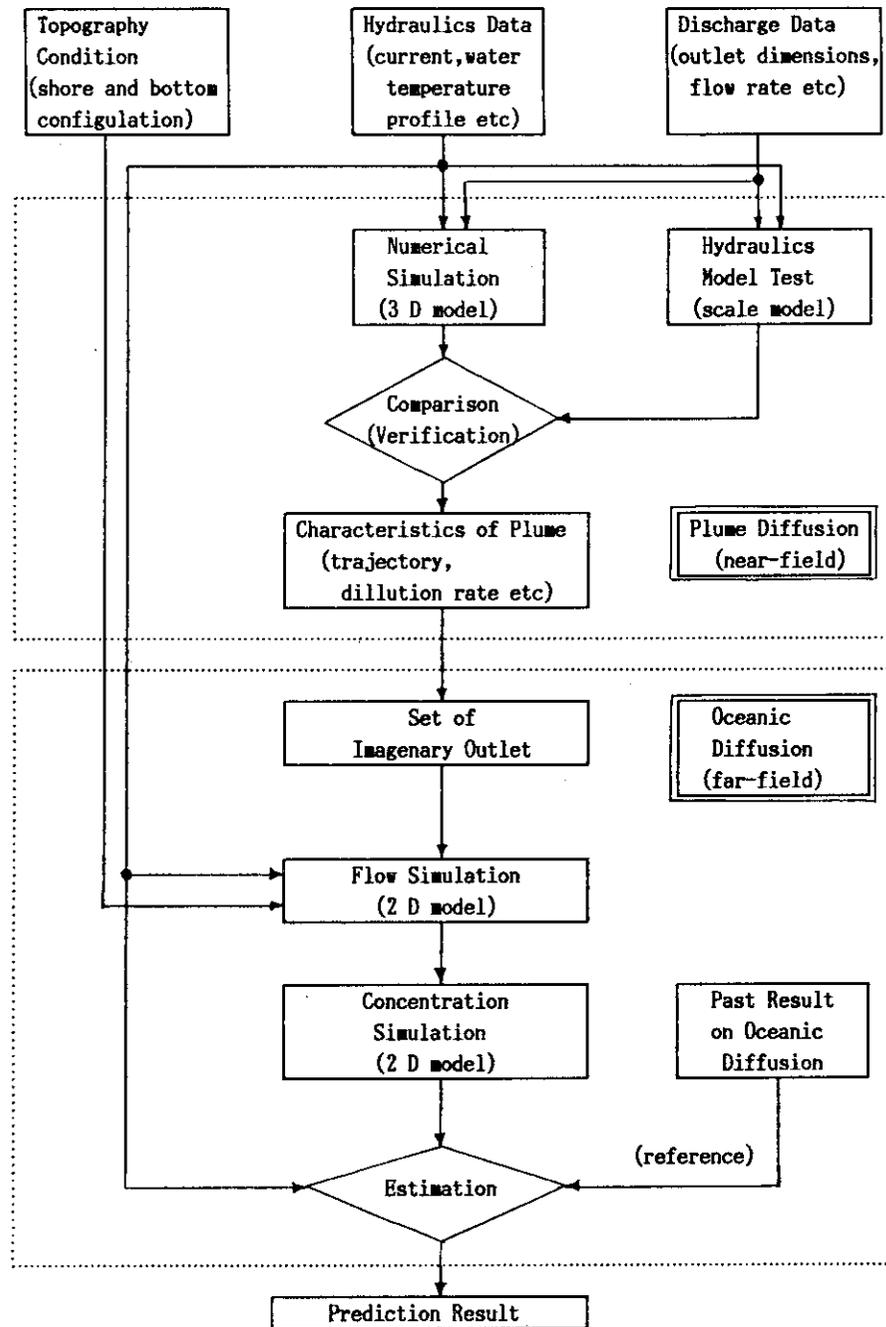


Fig. 2 Flow Chart of Diffusion Prediction for Radioactive Effluent.

3. 排液プルームの拡散特性

本章では、排液プルームにおける数値モデルの基礎方程式、およびそのモデルを用いた数値シミュレーション結果と水理実験結果との比較について紹介する。

3.1 数値モデルの内容

(1) 基礎方程式

排液プルームの拡散現象を支配する方程式群は、質量、運動量、熱量、塩分量および物質の保存式で構成される。

1) 質量保存式(連続式)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

2) 運動方程式(3次元のナビア・ストークス方程式)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \epsilon_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \epsilon_m \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\Delta \rho}{\rho} g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \epsilon_m \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

3) 熱量保存式(熱拡散方程式)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \epsilon_T \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

4) 塩分保存式

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + w \frac{\partial s}{\partial z} = \epsilon_s \left(\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

5) 物質保存式

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \epsilon_c \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

6) 密度式(例えばクヌードセン式, 付録1参照)

$$\rho = \rho_s(T, S) \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに, t: 時間

u, v, w: x, y, z 方向の速度成分

p: 圧力

ϵ_m : 渦動粘性係数

g: 重力加速度

ρ : 密度

$\Delta \rho$: 周囲水と放出水との密度差

T: 温度

s : 塩分量

c : 物質濃度

$\epsilon_T, \epsilon_s, \epsilon_c$: それぞれ温度, 塩分, 物質の渦動拡散係数

(2) 渦動粘性係数と渦動粘性係数の設定

噴流内の渦動粘性係数 ϵ_m は, 基本的に噴流の半値半幅 $b/2$ を混合長とした混合距離モデルにより, 次式のように表現する。

$$\epsilon_m = C \cdot b/2 \cdot W_{max} \dots\dots\dots (9)$$

ここに, C : 定数

W_{max} : 噴流中心の速度

また, 渦動拡散係数 ϵ_s (ϵ_T, ϵ_c) は乱流シュミット数 S_c (あるいは, 乱流プラントル数 Pr) によって次のように表わす。

$$\epsilon_s = \epsilon_m / S_c (= \epsilon_m / Pr)$$

ただし, 本計算では既往の研究結果をもとに $S_c = 0.7$ とした。

(3) 計算領域と境界条件

静水域の場合の計算領域は, 現象が軸対称となるため円筒座標系 ($r-z$ 平面) で取り扱う (Fig. 3-1 参照)。流水域の場合には, 噴流中心を含む縦断面で面対称と考えられるため, 中心縦断面から片側を対象に取り扱う (Fig. 3-2 参照)。これらの計算領域はいずれも放出口半径を最小のメッシュ単位として放出口から遠去かるにつれて徐々に格子間隔を広げるような不当間隔メッシュに分割した。

静水域および流水域の境界条件はそれぞれ Fig. 3-1 および Fig. 3-2 に示す通りである。

数値計算は差分法を採用し(1)で示した基礎式を差分方程式に変換して実施する。解析法のポイントを付録 2 に示す。

3.2 数値シミュレーション結果とその考察

本節では, 前節の数値モデルを用い, 様々な周囲水条件下における排液プルーム拡散現象に対するシミュレーション結果を示し, 実験結果との比較の下で考察を加える (Fig. 4 参照)。

(1) 均一密度場静水域

Fig. 5 は均一密度の静水域へ排液を放水した場合の流速ベクトルの縦断分布を示す。計算結果は, 噴流が周囲水を連行しながら幅を広げていく様子や海面付近での水平流動状況を明瞭に模擬している。

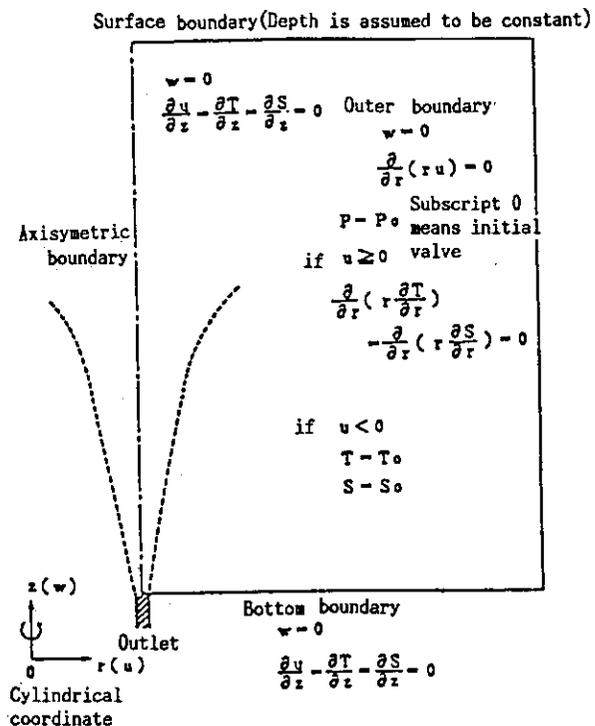


Fig. 3-1 Boundary Conditions (stagnant environment)

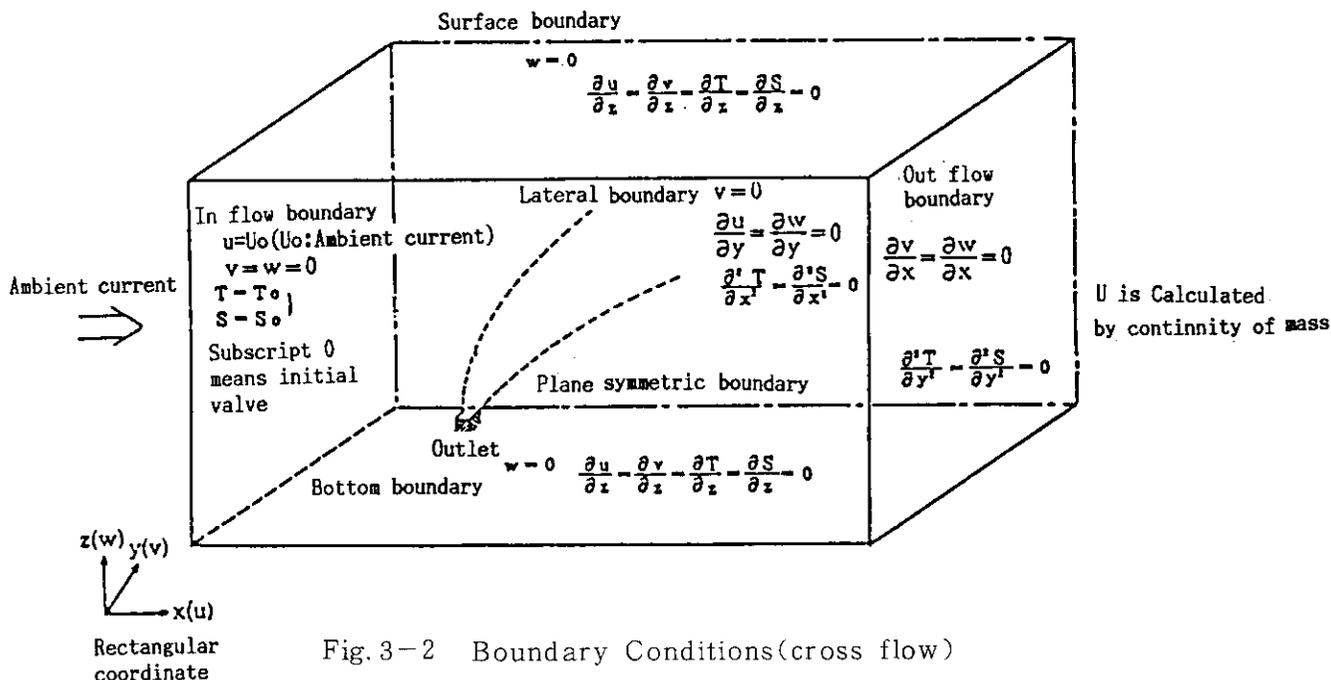


Fig. 3-2 Boundary Conditions (cross flow)

Fig. 6は、この時の排液の濃度分布を示す。図中には、放出条件ならびに同一条件下での実験結果を併記して示している。計算結果を実験結果と比較すると、海面付近での濃度に若干の相違が見られるが、両者はおおむね良い一致を示している。

(2) 二成層静水域

Fig. 7は二成層場（上下温度差2℃、上層厚さ5m）の静水域へ排液を放出した場合の鉛直を縦断面における濃度分布と流速分布を示したものである。濃度分布については、計算と同一条件で得られた実験結果を合せて示してある。Fig. 7より、排液は運動量によって一旦水表面に達した後、負の浮力によって排液と等密度を有する成層境界面付近に潜り込む様子が、計算結果と実験結果とも一致していることが認められる。

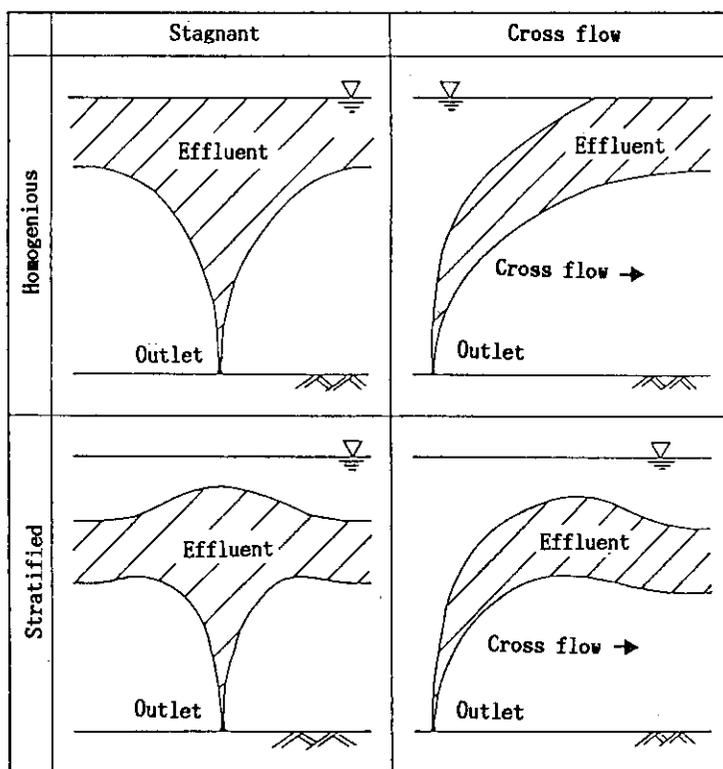


Fig. 4 Behaviors of Effluent in the Various Conditions of Receiving Water.

Fig. 8は、噴流中心に沿った希釈倍率および流速低減率の変化に関して、上述の計算結果とともに別途実施した非成層条件下での計算結果ならびに Abraham の実験式を示す。

これらを比較すると、希釈倍率および流速低減率ともに、この例で見られる限り水表面近く

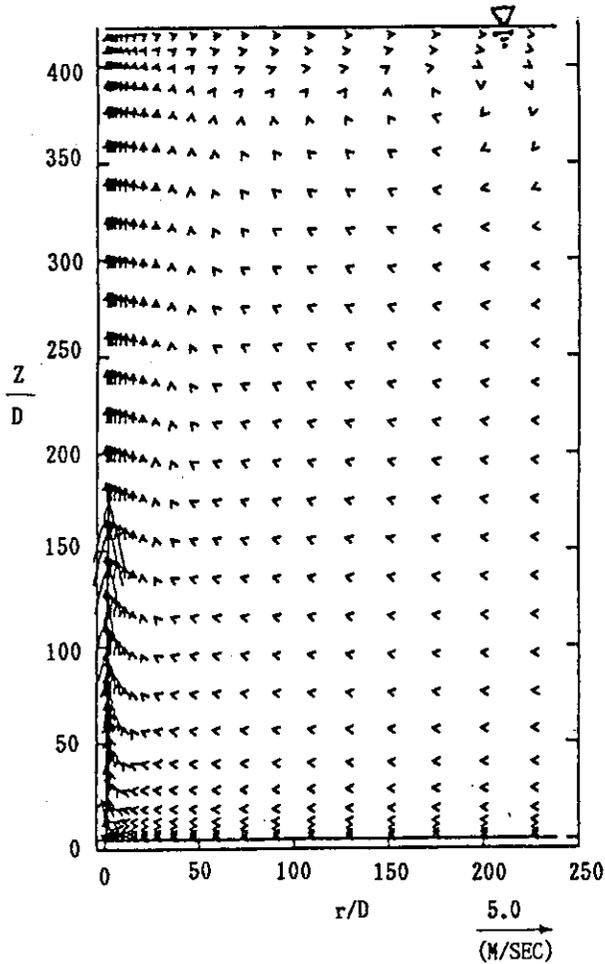


Fig 5 Flow Vectors in the Longitudinal section(homogenous stagnant water)

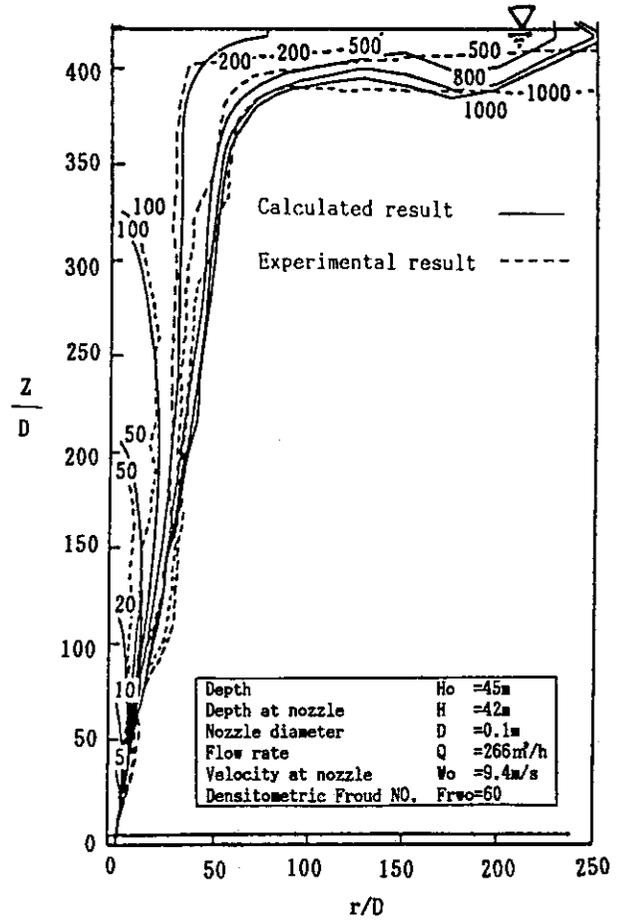


Fig.6 Comparison between Calculated Results and Experiment Results about Dilution Contours(homogenous stagnant water)

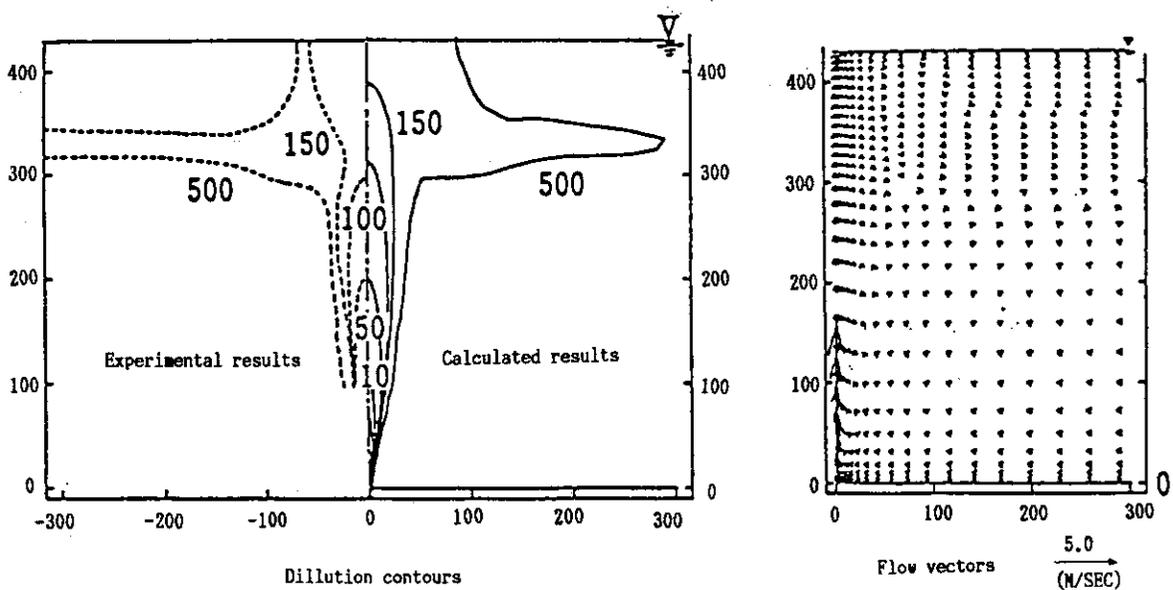


Fig.7 Dilution Contours and Flow Vectors in the Longitudinal Section(stratified stagnant water)

まではほぼ非成層域の場合と同様に変化し、Abrahamの実験式と良く一致していると認められる。ただし、流速低減率の変化を見ると、成層化している場合の方が水表面近での急速な流速の減衰がより深い所に出現していることがわかる。

(3) 均一密度場流水域

Fig 9は、均一密度場において、一様な水平流れ 10 cm/s の中に放出される排液プルームの濃度分布を示したものである。プルームは、濃度を低減しながら流れによって経路が曲げられ、しだいに水平方向に拡散する状況が見られる。また、図には示していないが、実験結果で認められる横断分布の馬蹄形への変形(噴流の分岐現象の誘起)を明確に認めることができる。

Fig. 10, 11は、噴流経路および噴流中心軸に沿う濃度低減について別途著者らが実施した実験式との比較を示したものであるが、計算結果と実験式とはほぼ良い一致を示す。

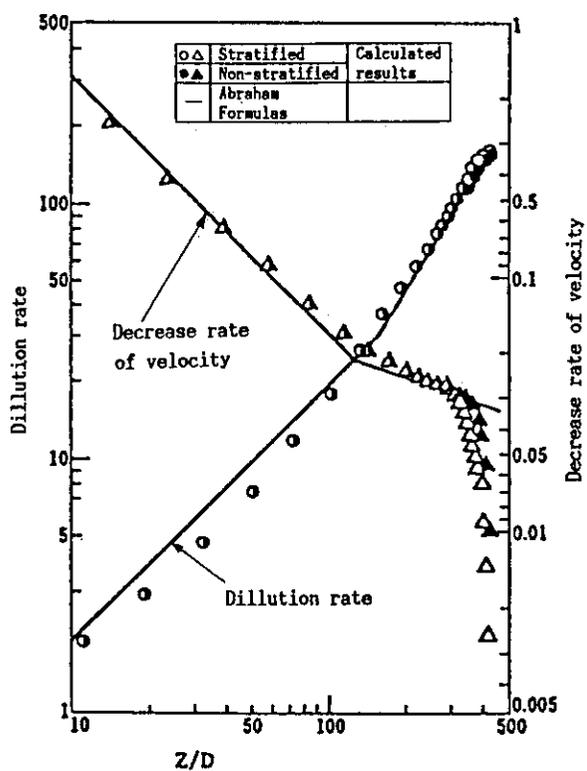


Fig. 8 Comparison between Calculated Results and Abraham Formula about Dilution Rate, of Decrease Rate of Velocity along the Plume Trajectory (stratified stagnant water)

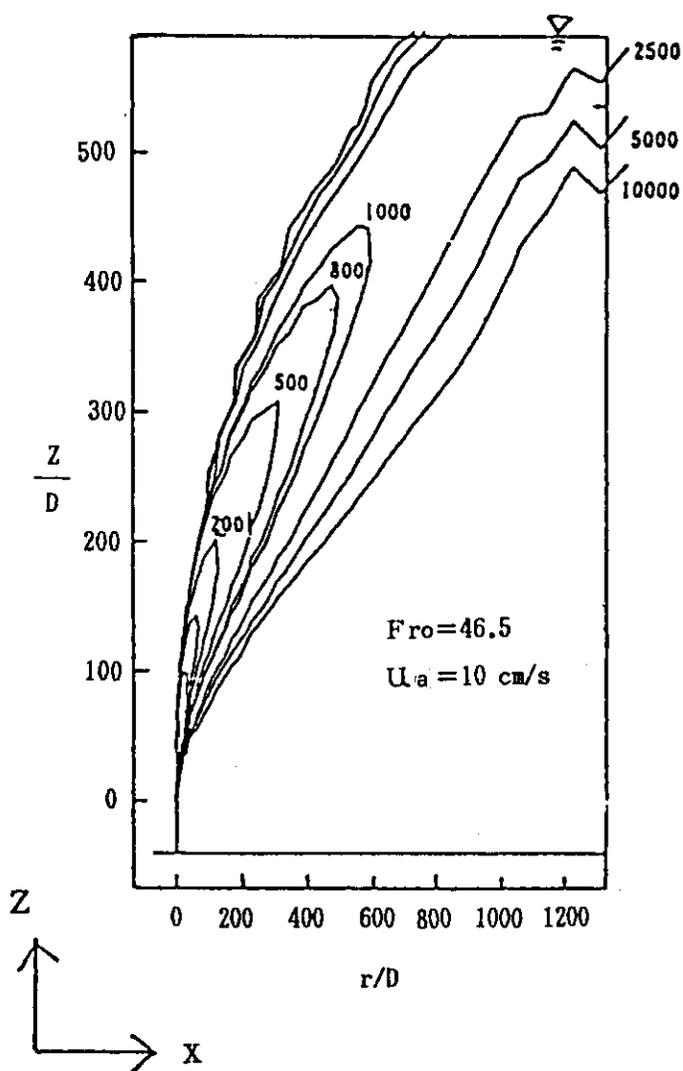


Fig. 9 Dilution Contours in the Longitudinal Section (homogenous cross flow)

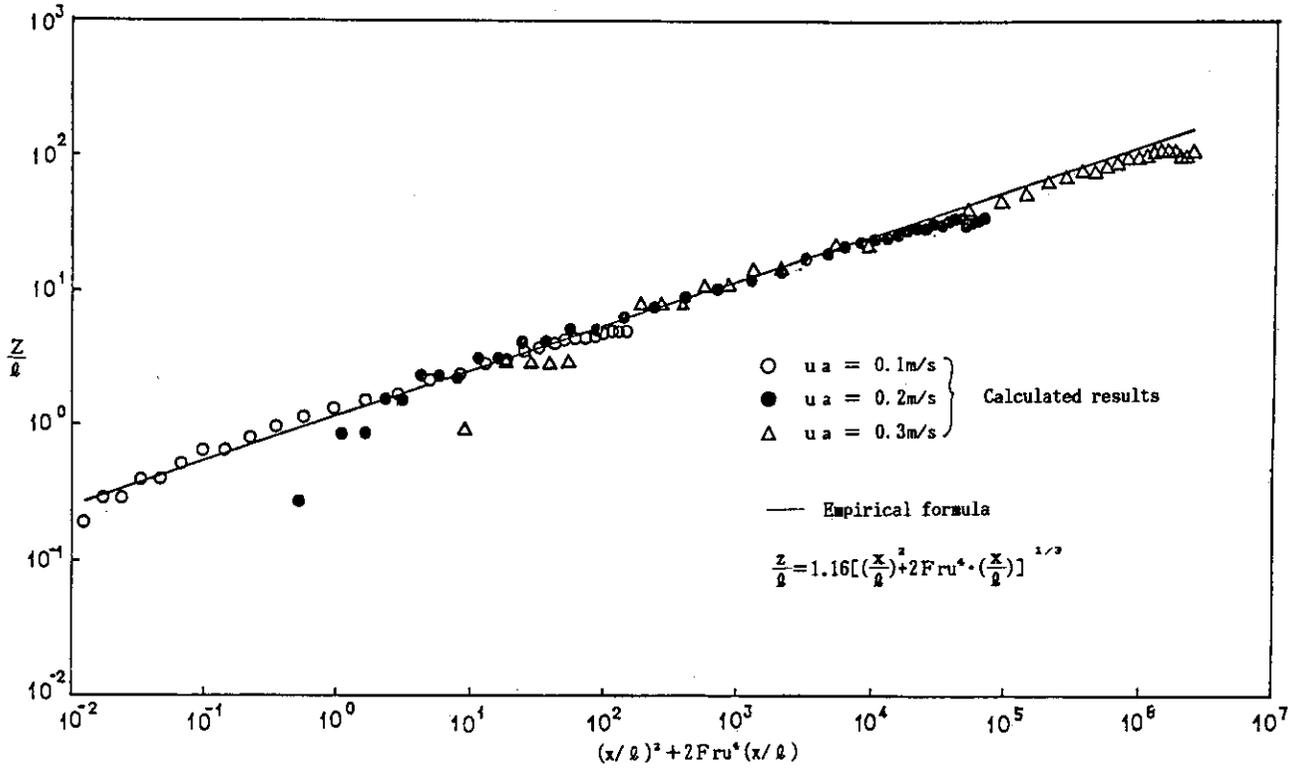


Fig.10 Comparison between Calculated Results and Empirical Formulas about Trajectories of Forced Plume(homogenous cross flow)

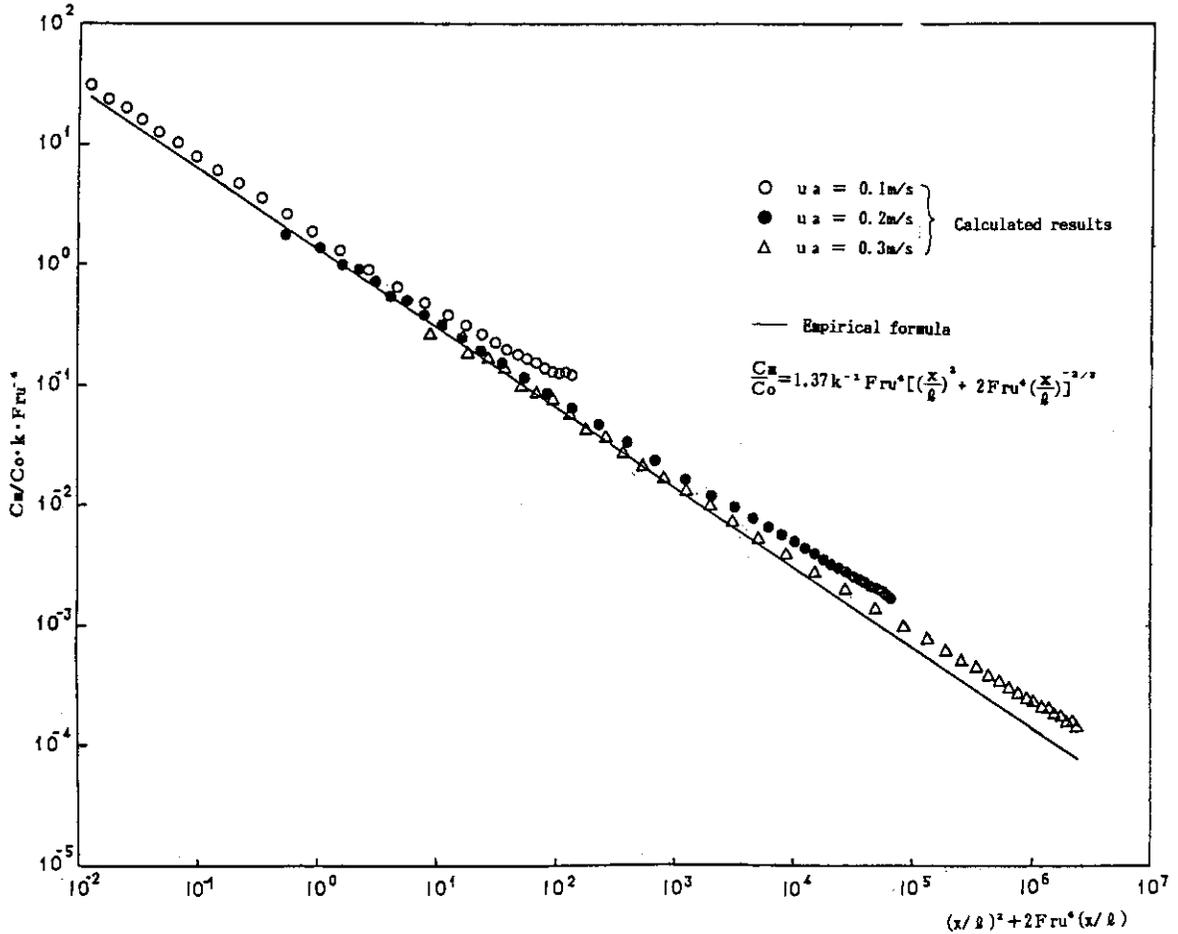


Fig.11 Comparison between Calculated Results and Empirical Formulas about Dilution along the Plume Trajectory(homogenous cross flow)

ここに、Fig. 10, 11における記号を説明すると以下の通りである。

ℓ : 特性長 ($= kD Fru^{-2}$)

Fru : 場の流速を基準にとった内部フルード数 ($= Ua / (gD \Delta\rho / \rho)^{1/2}$)

k : 流速比 ($= w_o / u_a$)

w_o : 放出流速

Ua : 周囲流速

D : ノズル径

C_m : 噴流中心軸の濃度

C_o : 放出口出口の濃度

(4) 流水成層域

Fig. 12は、周囲水に 10 cm/s の流れがあり、しかも上・下水温差 2℃の線形成層がある場合の排液プルームの濃度分布を示したものである。放出された排液は、 $X/D = 400$ 付近で最大上昇高さまで到達し、その後徐々に安定上昇高さの層へ潜り込み、水平拡散して様子が見られる。

Fig. 13, 14は、噴流経路とそれに沿う濃度低減について計算結果と別途著者らが実施した実験結果等得られた実験式との比較を示したものである。いずれも、放水口から水温成層の影響を受ける領域まで計算結果と実験式とは極めて良い一致を示す。

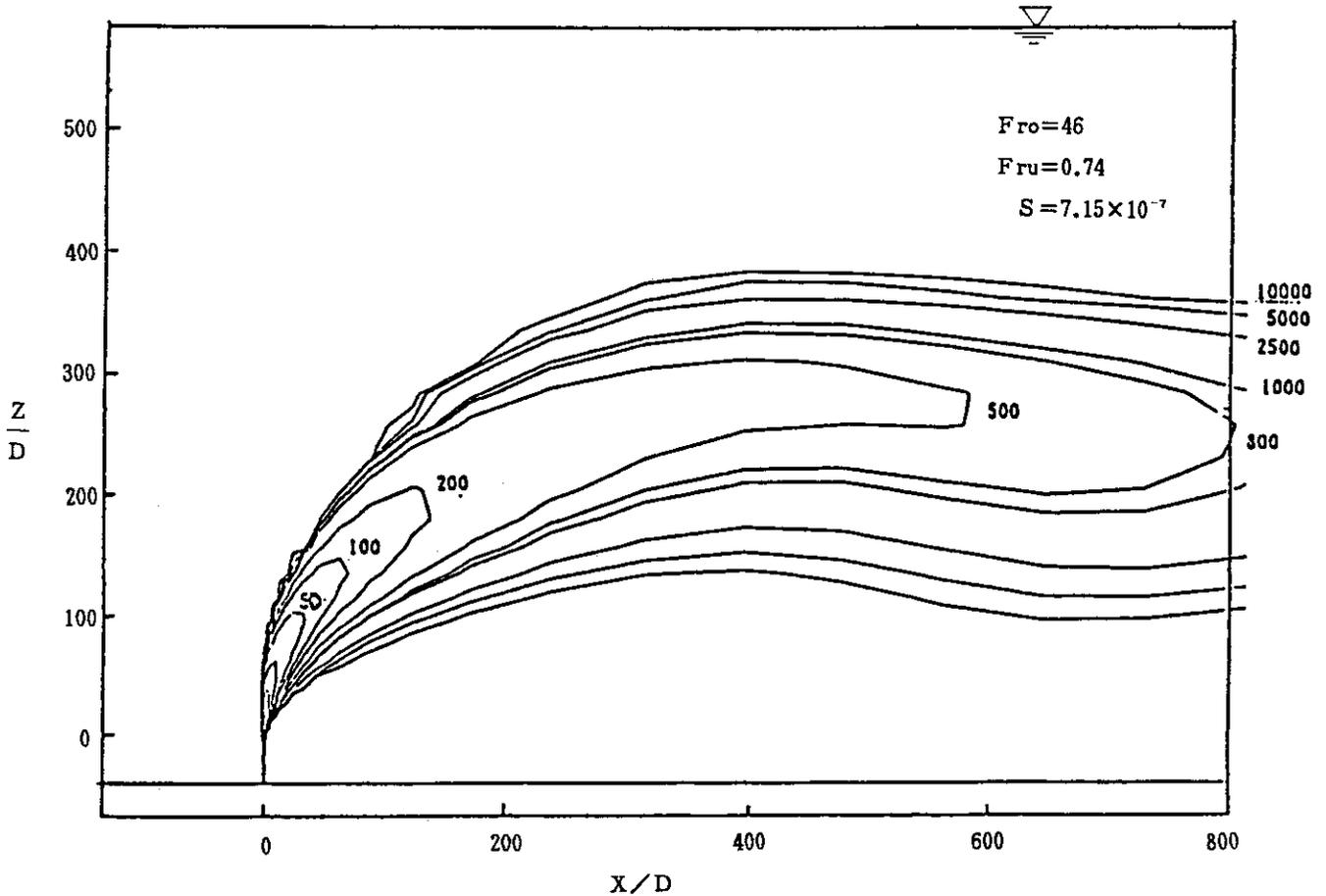


Fig. 12 Dilution Contours in the Longitudinal Section (cross flow of linear stratification)

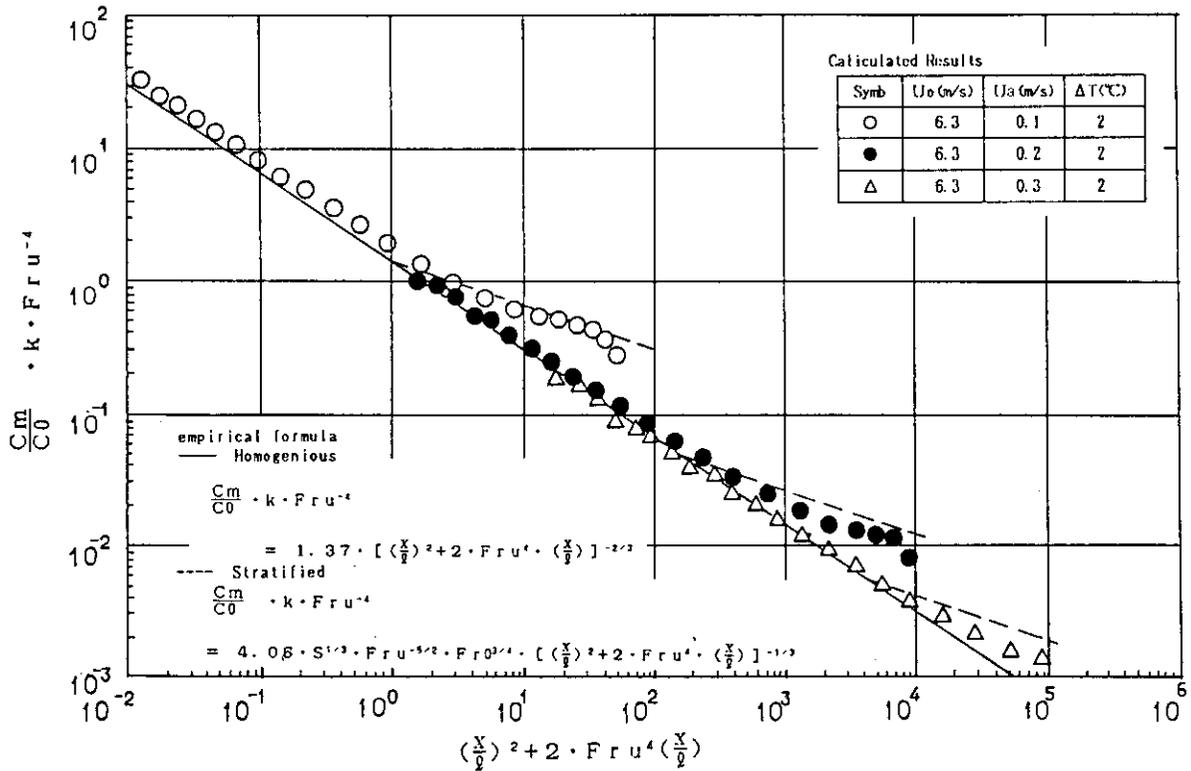


Fig.13 Dilution along the Plume Trajectories in Stratified Cross Flows.

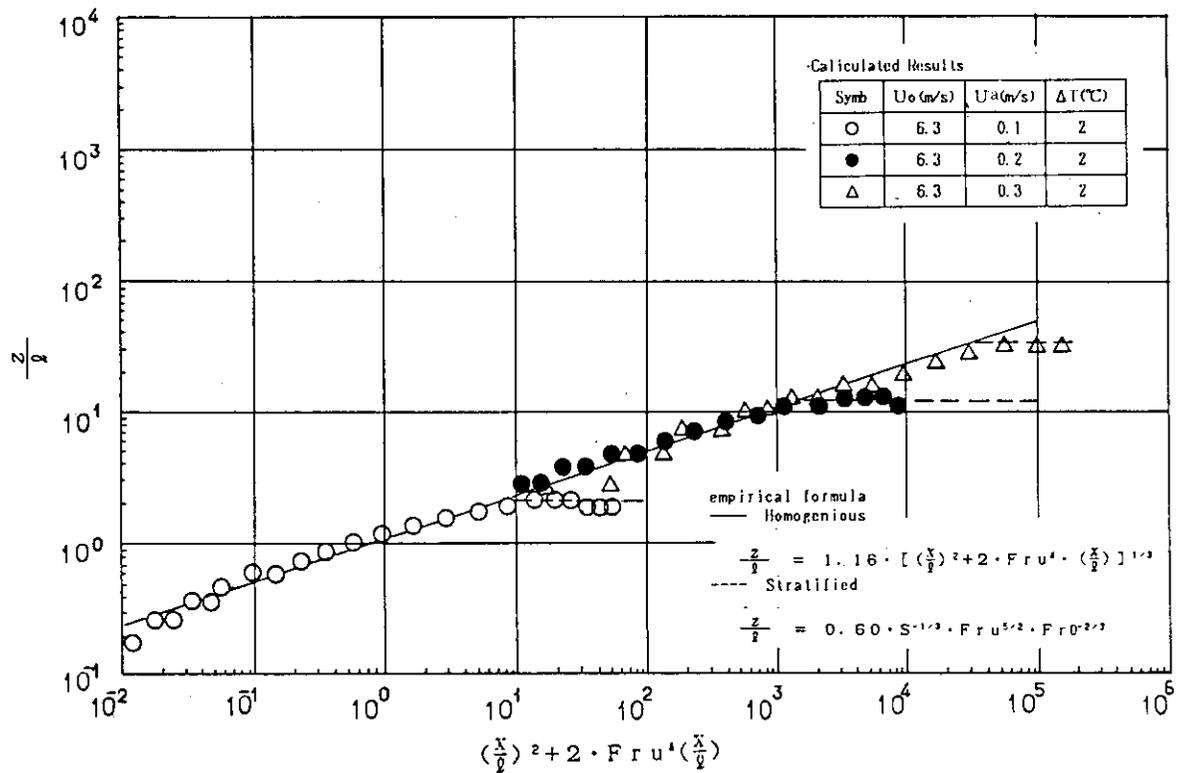


Fig.14 Trajectories of the Forced Plumes in Stratified Cross Flows.

4. 排液の海洋拡散の検討

本章では、前章の放出口近傍における排液プルームのシミュレーションの結果を受けて、放射性排液が海表面へ到達した後、あるいは中間層を水平方向に拡がる遠方領域における排液の拡散解析について紹介する。

4.1 数値モデルの内容

本モデルにおいては、海域における排液が、水平方向の移流と拡散に支配されてある一定の厚さを保持して平面二次元的に拡散するものと仮定する。

この仮定は、鉛直方向の拡散を無視することを意味しており、水平面で見えた濃度分布は、保守的な評価にあると考えられる。

(1) 基礎方程式

流動および排液濃度の基礎式は、三次元の運動方程式、連続式および拡散方程式を水平方向に積分した次式を用いる。

1) 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) = -gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + Ah \nabla^2 M - \tau_x \quad \dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + Ah \nabla^2 N - \tau_y \quad \dots\dots (11)$$

2) 連続式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots (12)$$

3) 拡散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ H_w K_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{W}{H_w} \right) \right\} \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ H_w K_y \left(\frac{W}{H_w} \right) \right\} - \lambda W - K_z \frac{\partial C}{\partial z} + V_i C_z = -b \quad \dots\dots (13) \end{aligned}$$

ここで、

$$M = \int_{-b}^{\zeta} u \, dz = U \cdot h, \quad N = \int_{-b}^{\zeta} v \, dz = V \cdot h, \quad W = \int_{-b}^{\zeta} c \, dz = H_w C$$

t : 時間

x, y, z : 座標軸

u, v : 水平方向の流速成分

U, V : 水平方向成分の鉛直平均流速

M, N : 水平方向の流量フラックス

Ah : 水平方向の渦動粘性係数

τ_x, τ_y : 水平方向のせん断力

h : 全水深、または排液流動の場合には排液の含まれる厚さ

ζ : 水位

g : 重力加速度

- c : 核種濃度
- C : 鉛直平均核種濃度
- W : 核種濃度フラックス
- K_x, K_y : 水平方向の渦動拡散係数
- λ : 崩壊定数
- V_i : 沈降粒子への吸着速度

(2) 拡散係数の設定

式中の渦動拡散係数 K_x, K_y は Richardson の 4/3 乗則をもとに次式のように算定する。

$$K_x = K_y = 0.01 B^{4/3} \leq K_{x0}, K_{y0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし, $B = 2\sqrt{3}\sigma$ $\dots\dots\dots$ (憩流時以外)

$= r$ $\dots\dots\dots$ (憩流時)

ここに, σ : 濃度横断分布の標準偏差 $\dots\dots\dots$ (憩流時以外)

r : 放出点直上からの距離 $\dots\dots\dots$ (憩流時)

K_{x0}, K_{y0} : 拡散係数の上限値

K_{x0}, K_{y0} については現地観測結果をもとに対象海域における平均的な拡散係数値を与える。

(3) 仮想放水口の設定

前述の放出口近傍領域での排液の混合希釈特性を遠方領域での濃度分布解析に入力条件として与えるため Fig. 15 に示すような仮想放水口の概念を導入する。つまり排液が海表面、あるいは水平拡散領域に到達する位置において、ある①濃度、②流速、③幅、④厚さをもった仮想的な放水口を設定する。

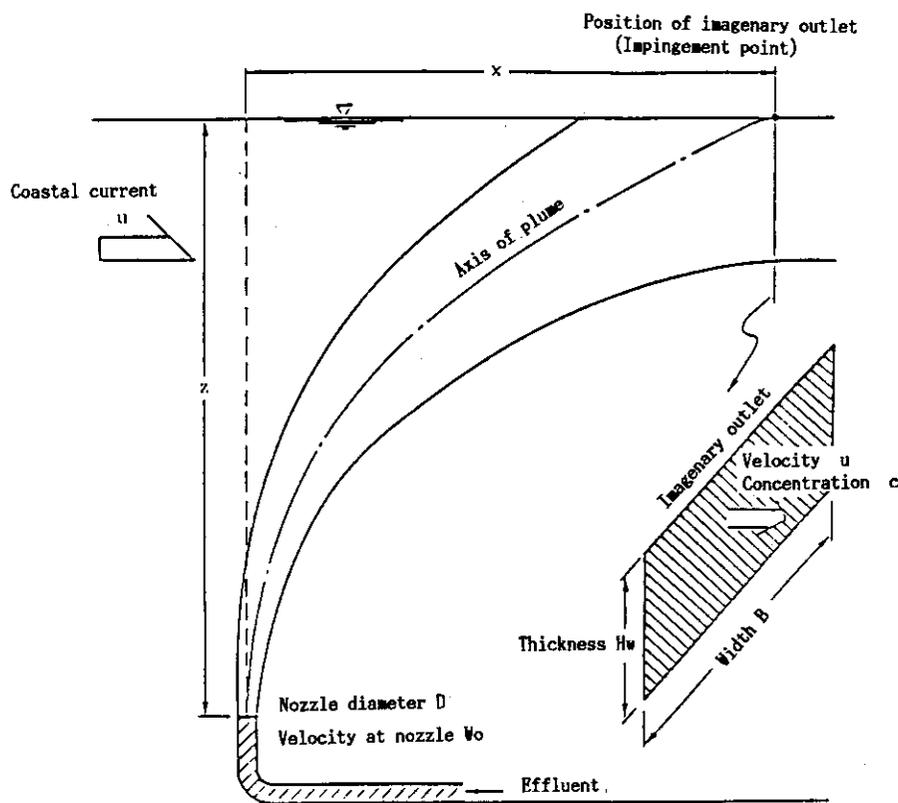


Fig.15 Outline of Imaginary Outlet.

ここでの濃度は一様分布とし、近傍領域での計算結果をもとに、その設定された範囲内での平均化した濃度を与える。

流速値は、やはり一様分布を仮定し、物質量の保存則が成立するものとして次式により求める。

$$U_0 = (c_0 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 W_0) / (C_0 \cdot B_0 \cdot H_w) \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここで、 C_0, W_0, D は放出管出口での濃度、放流速、およびノズル径、 U_0, C_0, B_0, H_w は仮想放水口における流速、濃度、幅、厚さである。

また、幅および厚さは、仮想放水口設定断面における最高濃度の半分の濃度になるまでの範囲としてそれぞれ定義する。

4.2 数値シミュレーション結果とその考察

本節では前節の数値モデルを用いて、排液が沿岸流によって表層拡散する状況をシミュレーション計算した例を紹介する。まず、濃度拡散計算に先立って対象海域の流動について前節の式(10)～(12)を用いてシミュレーション解析を実施する。つぎに、3章の排液プルームの計算結果に基づいて仮想放水口条件を設定する。

Fig.16は、海域流動10 cm/sが存在する場に、水深19 mのところからノズル径5 cmから放出流速7 m/sの条件で放出した場合の遠方領域でのシミュレーション結果の一例を示したものである。図中には、比較のために一様流れ場での線源から放出されたBrooksの解(付録3参照)も合わせて示してある。計算結果は流下距離とともに、約-1乗勾配で単調に減少し、2～3 km付近で濃度の低減が鈍化する傾向となっている。この傾向は、海域の拡散係数の上限値に到達したことを

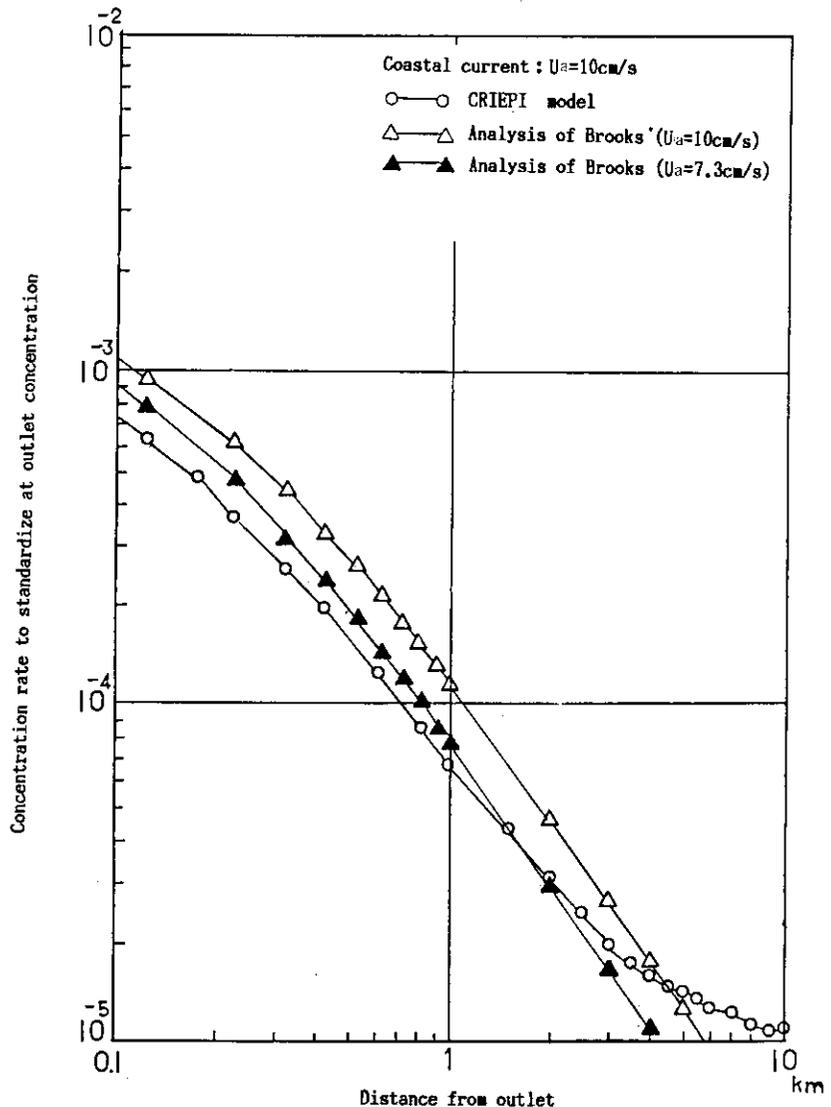


Fig.16 Examples of Calculated Results about Concentration Rate along the Plume Axis in Far-Field.

意味している。一方、Brooksの解は、やや濃度が高いがほぼ-1乗勾配で単調に減少する傾向が認められる。このことは、本数値モデルの解はほぼBrooks解と同等であり、異なっている点は遠方で拡散係数の頭打ちを設けていることである。

Fig.17は、水深50mのところ、ノズル径7.5cm、放流速6.3m/sで排液を放出した場合の排液中心軸の濃度減減の状況を示したものである。計算パラメータとしては海域流動を10, 20, 30cm/sと変化させてある。Fig.17より、海域流動が大きいほど希釈が良い(希釈倍率が大)傾向を示しているが、これは放出管から海域へ到達するまでのブルーム領域の希釈に依存するものと思われる。また、この計算例では、頭打ちの拡散係数として、 $K_{x0} = 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ (沿岸に平行方向)、 $K_{y0} = 5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ (沿岸に直角方向)を採用しており、その影響は流れの大きさによって異なるが3~5kmで上限値に到達して一定値となる。また、水温成層が存在する場合についても同様の検討計算を実施したが、成層による初期希釈の低下の影響が海洋拡散領域にまでおよび、非成層条件に比べて濃度が高くなる傾向が認められた。

さて、最終的な排液拡散予測結果は、対象海域の流れや成層条件に基づいて実施した各々の計算結果を、それらの出現頻度で重みを付けて加え合わせることによって求めることができる。ただし、流れや成層条件については観測結果に基づいて充分検討の上、モデル化することが必要である。

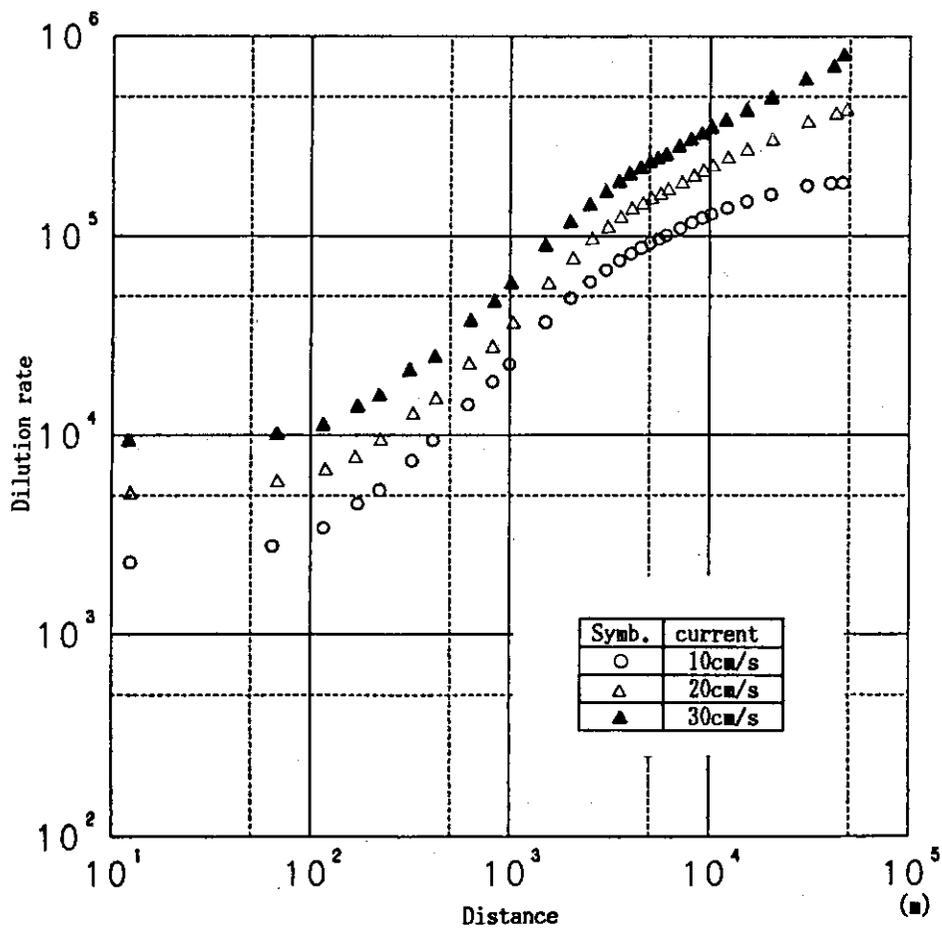


Fig.17 Dilution along the Plume Axis(non-stratified)

5. あとがき

以上、再処理施設から放出される放射性排液の海洋中で濃度分布を予測する手法を紹介してきた。しかし、本モデルでは放射性核種の海中や海底面での挙動は考慮されてない。紹介したモデルには、スキャベンジング効果に関して既往のモデルを示してあり、それをを用いて試算も実施しているが、その評価は充分ではない。現在、筆者らは、波浪や流れによる底質移動と核種の移行を考慮した高度化モデルの開発に取り組んでいるが、当面、保守的ではあるが、ここに紹介したモデルで実用に供し得るものと考えている。

最後に、本文で紹介した実験や計算結果の大部分については(株)日本原燃サービスの受託研究で実施したものであることを記し、便宜を図っていただいた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 片野・水鳥・和田 : 再処理施設放射性排液拡散予測手法の提案, 日本原子力学会 昭和61年の秋の分科会予稿集, 1986.
- 2) Abraham, G : Jet diffusion in liquid of greater density, Proc. of ASCE, Vol. 86, HY6, 1960.
- 3) 片野・河村 : 単一水平放流管による温排水の水溫低減化に関する研究, 電力中央研究所 土木研究所, 研究報告, No. 376008, 1977.1.
- 4) 和田・片野他 : 海水淡水化にともなう排出ブラインの拡散予測, 第22回水理講演会論文集, 1978.
- 5) 仲敷・水鳥・片野 : 遠方領域における鉛直重力噴流の特性について, 第42回年次学術講演会概要集, 土木学会, 1987.
- 6) 水鳥・片野・曾我・和田 : 流水中に放出される鉛直重力噴流の拡散過程, 第33回海岸工学講演会論文集, 1986.
- 7) Chu, V. H. and M. B. Goldberg : Buoyant Forced-plumes in cross flow, Proc. of ASCE, Vol. 100 HY9, 1978.
- 8) M. Mizutori, N. Katano and N. Nakashiki : Numerical simulation of vertical forced plume in stratified cross flow, Proc. of the third International Symposium on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, 1988.1.
- 9) 水鳥・片野・和田 : 成層化した流水中へ放出される鉛直重力噴流の数値シミュレーション, 第31回水理講演会論文集, 1987.2.

付録 1.

海水の密度 ρ は水温と塩素量とに関連している。クヌーツセンによれば、塩素量 $Cl(\%)$ と温度 0°C のときの密度 σ_0 との間には次の関係がある。

$$\sigma_0 = -0.069 + 1.4708Cl - 0.001570Cl^2 + 0.0000398Cl^3$$

ここに、 $\sigma = (\rho - 1) \times 10^3$ である。

一方、塩素量 $Cl(\%)$ と塩分量 $S(\%)$ との間には次の関係がある。

$$S = 0.030 + 1.8050Cl$$

任意の温度における密度 σ_t は次式で与えられる。

$$\sigma_t = \Sigma_T + (\sigma_0 + 0.1324) [1 - A_T + B_T (\sigma_0 - 0.1324)]$$

ただし、 Σ_T , A_T , B_T は温度 $T^\circ\text{C}$ だけの関数で、

$$\Sigma_T = -\frac{(T-3.98)^2}{50370} \cdot \frac{T+283}{T+67.26}$$

$$A_T = T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3}$$

$$B_T = T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}$$

で与えられる。

付録 2.

本解析手法における流速成分 u, v, w はセルの面で、圧力および密度はセルの中心位置で定義されている（付図-1 参照）。

一般に運動方程式を解いても本文中の式(1)を満足する速度場とは必ずしもならない。従ってセルの圧力を修正して速度の発散が 0 となるような修正がとられる。ここでは、 $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ の大きさが微小値 ϵ （設定誤差）より大きいときには圧力を次の量だけ変化させる。

$$\delta p = -\beta D$$

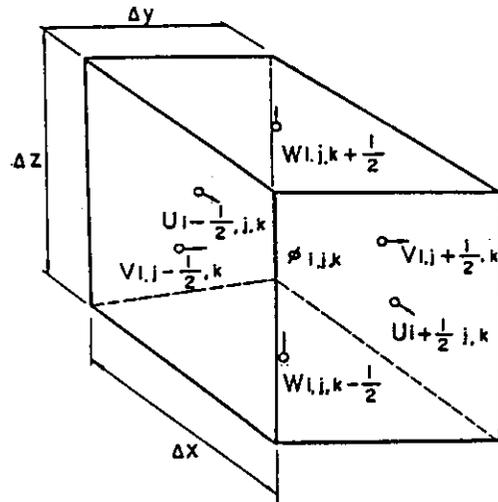
ここに、

$$\beta = \frac{\beta_0}{2 \delta t} \left(\frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} + \frac{1}{\delta z^2} \right)$$

β_0 は加速パラメータで 2 より小さい値。セル (i, j, k) で δp を計算して圧力 $P_{i,j,k}$ を補正するとともに、セル (i, j, k) の各面での流速成分を

$$u_{i,j,k} \rightarrow u_{i,j,k} + \left(\frac{\delta t}{\delta x} \right) \delta p$$

と調整される過程を繰り返すとき、 $D < \epsilon$ を満足するセル群が得られる。



付図-1 3次元差分格子系

付録 3.

Brooks は、付図-2 に示すように、一様流れ場の線源を対象にして水深、流れ方向の拡散を無視し、 Ky の $L^{4/3}$ の関係式を用いて解析解を得ている。

[基礎式]

$$U \frac{\partial c}{\partial x} = Ky \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - Kc$$

[解]

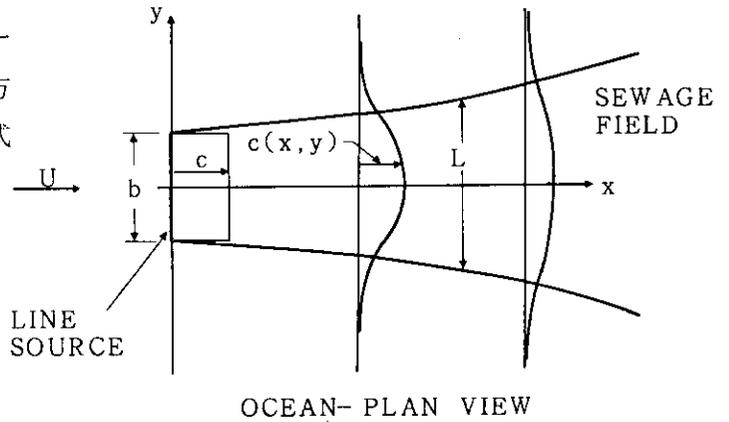
$$\frac{L}{b} = \left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{\pi}{b} \right)^{3/2}$$

$$C_m = C_0 e^{-Kt} \operatorname{erf} \frac{\frac{3}{2}}{\sqrt{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \cdot \frac{x}{b} \right)^3 - 1}}$$

$$\beta = \frac{12Ky}{Vb}$$

$$\operatorname{erf} X = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X e^{-z^2} dz$$

ここに L : 拡散現象における廃水幅 $L = \sqrt{3} \sigma$, C_0 : $x=0$ における濃度 (ppm), C_m : x における最大濃度 (ppm), Ky : $Ky = \alpha L^{4/3}$ により求められる拡散係数 (cm^2/sec), 普通 $\alpha = 0.01$ (cm, sec 単位), V : x 方向の海流の流速 (cm/sec), K : 減衰拡散, b : $x=0$ における廃水幅 (cm)



付図-2 一様流れ場の線源拡散の模式図 (Brooks)

6.2 高レベル廃棄物地層処分評価コードの開発と現状

木村英雄, 山下 亮 (日本原子力研究所環境安全研究部)

高レベル廃棄物は安定な深地層に処分されると考えられており, 放射性核種の人間の生活圏への漏出は地下水によって起こると考えられる。地層処分の安全評価モデルは大きく三つのサブモデルに分けることができる。第一はガラス固化体, キャニスター, オーバーバック, 緩衝材, 埋め戻し材等の人工バリアに関するソースタームモデル, 第二は天然バリアである地層に関する移行モデル, 第三は人間の生活圏における被曝評価モデルである。

ここでは, 地層に関する移行モデルについて紹介する。また, 地層中移行モデルについて, 地下水流解析計算モデルの国際比較研究(HYDROCOIN)計画, 放射性核種地中移行計算モデルの国際実証研究(INTRAVAL)計画の二つの国際プロジェクトが実施されているので, これらの解析結果を紹介する。

Recent works on safety evaluation for high-level waste disposal

Hideo KIMURA, Ryo YAMASHITA

It is generally considered that high-level wastes are disposed into a deep stable geologic formation, and radionuclide may be transferred from the disposal vault to biosphere by groundwater flow. The safety evaluation model of waste disposal is divided into three submodels: source term model concerning engineered barriers, geosphere model which describes nuclide transport and biosphere model estimates radiation dose to man.

This report describes the radionuclide transport in the geologic media, and some results of HYDROCOIN (The International Hydrogic Code Intercomparison) project and INTRAVAL (The International Study for Work on Validation of Geosphere Transport Models) project.

Keywords

Radioactive waste, Disposal, Nuclide transport, Groundwater flow, Geologic media, Safety evaluation

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物は安定な深地層（地下 500 から 1000 m）に処分することにより、長期間にわたって人間の生活環境から隔離することが考えられている。人間の生活圏への漏出パターンとして通常以下のことが考えられる。放射性核種の処分場からの漏出は、キャニスター、オーバーパック等が長期間にわたる地下水等による侵食作用によって破損し、ガラス固化体が地下水に浸ることによって開始される。ガラス固化体から浸出した放射性核種は、緩衝材、埋め戻し材を拡散移行した後、天然バリアである地層を経て地表（人間の生活圏）に到達する（Fig. 1）。また、これらの移行現象は地殻変動などの不確定事象によって促進されることを考慮しなければならない。

以上のことから、地層処分の安全評価モデルは大きく三つに分けることができる。すなわち、ガラス固化体、キャニスター、オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材等の人工バリアに関するソースタームモデル、地層についての移行モデル、人間の生活圏における被曝評価モデルである。地層での移行モデルは、地下水中の核種濃度は十分低いと考えられるので、移行の要因となる地下水流を解析するモデルと、その地下水流に乗って岩石に吸脱着しながら移動する放射性核種を解析するモデル（核種移行モデル）とに分けて考えることができる。

ここでは、地下水流モデルおよび核種移行モデルについて紹介するとともに、計算例として、HYDROCOIN（地下水流解析計算モデル国際比較研究）計画、INTRAVAL（放射性核種地中移行計算モデルの国際実証研究）計画の解析結果を紹介する。

2. 地下水流解析モデル

一般的に地下水流は、亀裂のない多孔質媒体中の流れと亀裂のある媒体中の流れとに分けることができる。亀裂のない多孔質媒体中の流れの支配方程式は、連続の式とダルシーの式により与えられる。

連続の式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\phi \rho_f) + \text{div}(\rho_f \vec{u}) = Q_f \quad (1)$$

ダルシーの式

$$\vec{u} = -K_f \left[\nabla h_p + \frac{\rho_f(T)}{\rho_0} \nabla h_e \right] \quad (2)$$

ここで ϕ : 空隙率

ρ_f : 地下水の密度 (kg/m^3)

Q_f : 湧水率 ($\text{kg}/\text{m}^3 \text{sec}$)

\vec{u} : 地下水流速 (m/sec)

K_f : 透水係数テンソル（粘性および密度の関数, m/sec ）

h_p : 圧力水頭 (m)

T : 地下水の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

ρ_0 : 基準温度における流体密度 (kg/m^3)

h_e : 位置水頭 (m)

さらに、(1)式は比貯留係数 C ($1/\text{m}$) を使って次式のように表される。

$$\rho_f C \frac{\partial h_p}{\partial t} + \text{div}(\rho_f \vec{u}) = Q_f \quad (3)$$

多孔質媒体中の地下水流は(2)および(3)式を差分法あるいは有限要素法などを適用して解くことによって与えられる。原研では、有限要素法で定式化した二次元モデル 2D-SEEP¹⁾、三次元モデル 3D-SEEP²⁾を開発した。

一方、亀裂性媒体中での地下水流解析としては、二つの理論的アプローチが知られている³⁾。一つは亀裂の入った媒体を中に不連続面が存在する連続体とみなす決定論的方法であり、もう一つは二重空隙モデルと呼ばれるものである。第一の方法では、不連続な亀裂モデルの支配方程式は多孔質連続体ブロックや亀裂領域での変形と流体流れに関する方程式からできており、応力と地下水流の連成問題として取り扱われる (Fig. 2)。第二の方法では、亀裂を含む媒体は二つの完全に重なった連続体 (多孔質体ブロックおよび亀裂) で表され、両者間の水収支の時間変化を考える (Fig. 3)。Huyakorn⁴⁾は、多孔質体ブロックを一次元非定常流方程式、亀裂を二次元非定常流方程式で表現し、亀裂内への流量が一次元方程式を解析的に解くことによって与えられる手法を開発している。この手法は、現在使われている二重空隙モデルの中ではもっとも優れた手法の一つと考えられる。

地層処分の安全評価を考えた場合、極めて長期間にわたるため、降雨および水位などの境界条件の時間変化を考慮することは難しいので、地下水流は定常状態にあるとして解析することになるであろう。そのために、亀裂性岩盤を二重空隙モデルをそのまま使って表現することは不必要と考えられる。また第一の方法においては、応力と連成させるが、定常解析では応力のかかった状態での透水性がわかっているならば、この手法を使う必要はないと思われる。また有限要素法などでは、形状任意性に富むために、亀裂を透水性の高い多孔質媒体の要素として取り扱うことが比較的容易であり、実際に亀裂帯に対して使われることが多い。

このような観点から原研の三次元モデル 3D-SEEP では、亀裂を直接有限要素として表現する通常の方法の他に、亀裂の透水性を多孔質ブロック内に平均的に持たせることによって表現する Smearing model を採用している。Smearing model では、亀裂の存在する要素は亀裂方向の透水性が高くなったものとして表現される。この手法を用いることにより、計算メモリおよび計算時間の節約が可能である。

核種移行モデルで必要とされるのは、水頭値ではなく地下水流速である。処分場の概略的評価では、地下水の移動する跡 (トラジェクトリーまたはパスライン) に沿って一次元核種移行解析を行うことが考えられている。そのためには、地下水流速を正確に求める手法を開発する必要がある。(2)式を(3)式に代入して水頭値についての離散化方程式を解く方法では、地下水流速は要素内で水頭値を微分することによって求められる、そのために要素分割が適切でない場合誤差が大きい。これに対処するために、水頭値の他に地下水流速も自由度として取り扱う混合型有限要素法を採用した二次モデル SPMIX⁵⁾を開発した。混合型有限要素法を用いた手法は、要素分割が粗くても通常の有限要素法より精度の良い流速値が得られている。

3. 核種移行モデル

核種移行においても、地下水流と同様に亀裂のない多孔質媒体と亀裂性媒体を考えなければならない。核種の吸着、脱着特性も多孔質体と亀裂とでは異なる。亀裂のない多孔質媒体中での輸送方程式は、移流、分散、吸着についての等温平衡則、核種の崩壊連鎖を考えると次式のようになる。

$$\phi R_i \frac{\partial c_i}{\partial t} = \nabla(\phi D_i \nabla c_i) - \vec{u} \nabla c_i - \phi R_i \lambda_i c_i + \phi R_{i-1} \lambda_{i-1} c_{i-1} \quad (4)$$

ここで R_i : 核種 i の遅延係数

c_i : 核種 i の地下水中濃度 (C_i / m^3)

D_i : 核種 i の分散係数テンソル (m^2/sec)

λ_i : 核種 i の崩壊定数 ($1/sec$)

原研では、(4)式を有限要素法で定式化した一次元、二次元モデル、または(4)式と同等の現象をモンテカルロ法を用いて定式化した三次元モデル⁶⁾を開発した。

亀裂を含む媒体中では(4)式で考慮した現象の他に、核種の主な漏出経路となる亀裂から多孔質体ブロックへの拡散を考慮する必要がある。亀裂中の核種濃度が多孔質体ブロックの濃度に比べて高い場合は、亀裂中から多孔質体ブロックへ拡散し、逆の場合は多孔質体ブロックから亀裂中へ拡散する、このために亀裂中を移動してきた核種濃度のピークは小さくなり、また亀裂中の地下水流速から予想される到達時間よりも遅れるという現象が生じる。亀裂性媒体中での核種移行の支配方程式は、多孔質体ブロックを一次元として扱い亀裂に垂直な方向のみの拡散を考えると、次式で与えられる (Fig. 4)。

亀裂中

$$R_{fi} \frac{\partial c_i}{\partial t} = \nabla(D_i \nabla c_i) - \vec{u} \nabla c_i - R_{fi} \lambda_i c_i + R_{fi-1} \lambda_{i-1} c_{i-1} - \Gamma \quad (5)$$

多孔質体ブロック中

$$R_{mi} \frac{\partial c'_i}{\partial t} = D'_i \frac{\partial^2 c'_i}{\partial x^2} - R_{mi} \lambda_i c'_i + R_{mi-1} \lambda_{i-1} c'_{i-1} \quad (6)$$

$$\Gamma = \frac{\phi D'_i}{\delta} \frac{\partial c'_i}{\partial x} \Big|_{x=a} \quad (7)$$

初期条件および境界条件

$$c'_i = c'_0 \quad t = 0 \quad (8)$$

$$c'_i = c \quad x = a \quad (9)$$

$$\frac{\partial c'_i}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \quad (10)$$

ここで R_{fi} : 核種 i の亀裂中遅延係数

R_{mi} : 核種 i の多孔質体ブロック中遅延係数

c'_i : 核種 i の多孔質体ブロック中濃度 (C_i / m^3)

D_i : 核種 i の多孔質体ブロック中分散係数テンソル (m^2/sec)

2δ : 亀裂幅 (m)

a : 多孔質体ブロック長 (m)

Tang ら⁷⁾ は、崩壊連鎖のない単一亀裂の媒体中での核種移行式の解析解を求めている。また Huyakorn ら⁸⁾ は崩壊連鎖のある場合について亀裂および多孔質体ブロックとも有限要素法を用いて定式化している。原研では、多孔質体ブロックについては解析解を使い亀裂中は有限要素法を使う手法を開発している。この方法は、フラクチャーネットワークにも適用することができる。しかし小さな亀裂まですべてモデル化することは現実的に不可能であるので、どの程度の亀裂まで考慮したらよいかという問題点が残っている。これは亀裂性媒体の多孔質媒体近似という観点からも今後の重要な課題であり、実験的研究が望まれる。

4. 計算例

4.1 チョークリバーサイトの地下水流解析

地下水流解析の計算例として地下水流解析計算モデル国際比較研究 HYDROCOIN レベル 2 の例題を取り上げる。レベル 2 は実験値と比較することによって地下水流モデルの妥当性を確認するものである。

4.1.1 試験サイトおよび境界条件

チョークリバーサイトは、オタワ市の 200 km 北方に位置し 3 つの湖に囲まれている。モデル化を行った領域は Fig. 5 のハッチングを施した部分である。サイトの地質は不均質で構造的にも複雑であり、サイトを構成する主な岩種は、石英モンゾナイトおよび準片麻岩である。地表踏査および 17 本のボーリング孔を用いた物理探査などにより 4 つの破碎帯 (FZ-1 FZ-2 FZ-3 FZ-4) が確認されている⁹⁾ (Fig. 6)。FZ-1 はほとんど水平で地表面より 30~50 m のレベルでモデル化した領域の全体に広がっている。FZ-2 と FZ-3 は傾斜しており、モデル化された領域の中で有限な広がりを持つ。FZ-4 は唯一の垂直な破碎帯であり北側は湖まで達しているが、南側の端はモデル化された領域の境界にまでは達していない。

解析に用いた境界条件を Fig. 7 に示す。モデル化領域の下側の境界は、FZ-1 に合わせており境界条件は不透水 (no flow) すなわち FZ-1 より下方へは地下水は流出しないと仮定している。南側、西側、東側の側方境界条件も不透水の境界条件としている。上側すなわち地表面においては、ボーリング孔における水頭観測値や地表面の標高を考慮して水頭値を拘束している。また北側の湖に接する境界においては、次式にしたがって水頭値を拘束している。

$$h = \frac{h_{top} - h_{bottom}}{z_{top} - z_{bottom}} \times (z - z_{bottom}) + h_{bottom} \quad (11)$$

ここで、 z は標高を表し、 h_{top} は湖の水面の全水頭であり、 h_{bottom} は、FZ-1 と交差するボーリング孔の測定区間で観測された水頭値から外挿した値である。また 17 本のボーリング孔はパッカーにより区切られており、ボーリング孔が掘削されていることによる地下水流場への影響は考

慮していない。ただし、FS-10についてはパッカーをセットせずオープンにした条件においても水頭の測定値が得られており、この場合についてはFS-10に沿った節点全ての水頭値を測定された値に拘束した。

4.1.2 数値解析モデル

数値解析ではFig. 8, 9に示すように781節点, 1090要素のメッシュを用いて有限要素法により計算した。メッシュは10の層から成り、最下位の層はFZ-1に割り当てられている。有限要素としては6節点および8節点の複合要素を用いた。またFZ-1, FZ-2, FZ-3を含む層は、z方向の厚みを1mとした。破碎帯とボーリング孔との交差する標高をTable 1に示す。透水係数テンソルは、層ごとにまた破碎帯ごとに設定した。また異方性を考え水平方向と垂直方向で透水係数を変えている。

4.1.3 計算結果

計算は3D-SEEPコードを用いてFS-10にパッカーをセットしクローズにした場合とFS-10をオープンにした場合の両方について定常解析を行った。実測値と計算値のキャリブレーションを行うために次式を用いて誤差を評価した。

$$\text{Error} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|h_{mi} - h_i| l_i}{\bar{l}} \quad (12)$$

ここでnは測定区間の数、 l_i は測定区間の長さ（パッカーの間隔）、 \bar{l} は測定区間の平均長さ、 h_i は計算された水頭値、 h_{mi} は測定された水頭値である。またここで、測定区間の長さが長くなるほど水頭の測定値の誤差は大きくなると考えられ、 $1/l_i$ を誤差計算時の重みづけとして用いている。キャリブレーションのために用いたパラメータは、各層および4つの破碎帯の透水係数である。当初はボーリング孔を用いた注水試験の結果得られた透水係数の値を用いて計算し、試行錯誤により値を修正していき誤差の値を最小にするような透水係数の値の組を求めた。計算結果が最もよく実測値と合った場合（RUN 1）における透水係数の値をTable 2に示す。この場合、上式により計算された誤差の値は、FS-10がクローズされた条件に対して0.86、FS-10がオープンした条件に対して1.21であった。

FS-10がクローズされた状態でのFZ-1内の計算された水頭の分布をFig.10に示す。FZ-1の透水係数は比較的大きいため水頭の勾配は、地表面に比べ非常に小さい。またFig.11には垂直断面での水頭値の分布を示す。解析領域の南半分の部分では地下水流は地表からFZ-1に向かっていると解釈でき、FZ-2やFZ-3に比べてFZ-1が地下水流場に大きな影響を持っていると考えられる。

各ボーリング孔での実測値と計算値を比較した結果をFig.12, 13（FS-10がクローズした条件）、Fig.14, 15（FS-10がオープンの条件）に示す。FS-10がオープンな状態の場合FS-10の近くの測定点では、水頭値の低下が観察されているが、数値解析結果においても同様の傾向が得られている。実測値と計算結果を比較した場合、測定区間によっては無視し得ない程の実測値との食い違いを示している部分もあるが、全体的にみて数値計算結果は、チョークリバーサイトの地下水流場をある程度再現できているように思われる。地質学的な調査からこのサイトは複数の岩種から構成される不均質な岩体であるとされており、こうした不均質性が誤差の原因の一つ

であると考えられる。また破碎帯の存在の影響についてみると、FZ-2、FZ-3の水頭場への影響はあまりないように思われる。一方FS-7に注目するとボーリング孔の地表面側とFZ-1側で水頭値の差が実測結果においても計算結果においても他のボーリング孔よりも小さくなっている。これは、FS-7が透水性の大きいFZ-4のすぐ近くにあることによるものと考えられる。

チョークリバーサイトでは多くのボーリング孔を用い地質構造的および水理学的な調査が相当詳細に行われ透水係数・水頭値・破碎帯の標高などの豊富な実測データが得られているが、地下水流モデルの実証という観点からみるならば必ずしも十分とは言えず、さらに破碎帯の正確な空間的広がり、測定値の誤差の範囲、モデルの境界上での水頭値、地下水流速値等のデータが得られることが望ましい。

4.2 単一亀裂を含んだ花崗岩中での核種移行解析

亀裂媒体中での核種移行解析の例として、放射性核種地中移行モデルの国際実証研究 INTRAVAL のCASE 2 を取り上げる。これはスウェーデンで採取された自然の亀裂を含んだ花崗岩サンプルについての室内カラム試験である¹⁰⁾この実験の目的は、単一亀裂のサンプルを使用したトレーサー実験結果から、亀裂媒体モデルの妥当性を検討することにある。

4.2.1 実験

直径10から20 cm 長さ18から30 cm の花崗岩コアサンプルをスウェーデンのストリップサイトから採取した。それぞれのコアサンプルには、その軸に平行に自然の単一亀裂が存在する。これらのコアサンプルを Fig. 16 に示すような実験装置にセットし、THO, Na LS, ⁸⁵Sr, ¹³⁴Cs などのトレーサーを同一コアサンプルの一端から圧入し、もう一端で採取しその濃度の経時変化を測定した。同一試験内では、圧入する圧力は亀裂中の流速が一定となるように設定した。トレーサーのほかに、流速も変化させて試験を行っている。

4.2.2 計算結果

解析対象のコアサンプルは直径20 cm 長さ30 cm のもので、亀裂の幅、亀裂中の分散係数、岩石マトリックス中の拡散係数および空隙率などは不明である。使用した核種移行モデルは、(5)、(6) および(7)式を解析解と結合させた有限要素法で定式化したものである。メッシュは流れの軸方向に2 cm ずつ等分割したメッシュを用いた。

最初に非吸着性（遅延係数が1）と思われるトレーサー THO について解析し、実験結果に合うパラメーターを試行錯誤で同定した。実験結果を Fig. 17, 計算結果を Fig. 18 に示す。同定されたパラメーターは、亀裂幅 2×10^{-4} m, 分散長 0.01 m, 拡散係数 3.3×10^{-11} m²/sec, 空隙率 0.001 であった。実験結果は流速が速いものについては破過曲線にプラトーがみられ、何等かの非線形な現象が起こっているものと思われる。

次に THO 試験で得られた亀裂幅および空隙率を用いて、⁸⁵Sr 試験の解析を行った結果の一部を Fig. 19, 20 に示す。これらは、⁸⁵Sr の水溶液を15分間のバンドで流したものであり、S7とS8では流速が約4倍ほど異なっている。同定されたパラメーターは、分散長 0.025 m, 拡散係数 1.0×10^{-9} m²/sec, マトリックス中の遅延係数 15000, 亀裂中の遅延係数はS7が3.8, S8が3.1と若干異なっている。ここでも、THO の場合と同様に流速の遅いS7の方が実験値と合っている。亀裂中での遅延係数が異なるのは、流速が速いために亀裂面で吸着平衡に達していないた

めと思われる。

4.3 玄武岩地層での原位置トレーサー試験の解析

米国ハンフォードサイトで行われたトレーサー試験が INTRAVAL の CASE 3 として取り上げられている。以下に原位置試験の概要と解析方法・解析結果について述べる。

4.3.1 試験概要

原位置試験が行われたサイトは千m以上の厚さを持つ層状の玄武岩から成っている。試験は2本のボーリング孔を使用して地層中に水を循環させるもので、ボーリング孔として約16m離れたDC-8(注入孔)およびDC-7(揚水孔)が用いられた(Fig.21)。また、物理検層のデータを基に間隙率の比較的大きいMcCLOY CANYON 溶岩層の上部(地表下約1000m)がトレーサー試験の対象として選ばれた。トレーサーは、DC-8に約12m離れてセットされた2つのパッカーの間に注入され、DC-7で揚水、回収された地下水に含まれるトレーサーの濃度が測定された。揚水した地下水の一部は再度DC-8に注入された。

試験は、Science Application Inc.(SAI)が1979年に、Rockwellが1982年にそれぞれ1回行っている。これらの試験の主な違いはトレーサーの種類、注入流量、試験装置類などである。

4.3.2 地下水流解析および物質移行解析

解析を行うに当たって以下の仮定をおいた。

- ・トレーサー試験の行われた地層は、その上下の地層に比較して空隙率が比較的大きいことから、地下水は2本のボーリング孔間を2次元的に流れる。すなわち注入水の上下の地層への流出量は無視しうるほど小さい。
- ・玄武岩層からなる地層であり、節理などの不連続面を含んでいるが亀裂の開口幅や空間的分布についての情報が不足しているため等価な多孔質体として近似する。
- ・地層は考えている平面内で一様でかつ等方性である。
- ・自然に存在する地下水流は、注入によって生じる地下水流に比べて無視しうる程小さい。

物質移行の解析を行うには先ず地下水流速を求める必要がある。地下水流解析では試験が行われている期間中は流量が一定であり、定常状態の流れを考えれば良いと考えられる。すなわち(1)式で、時間微分の項を0とした方程式を考え、これを次の条件のもとで解く。

$$\left. \begin{aligned} h(\pm\infty, \pm\infty) &= 0 \\ Q_f &= \pm Q_i \delta(x \mp L/2, y) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここで Q_i と δ はそれぞれ注入流量(kg/sec)およびディラックのデルタ関数($1/m^3$)であるが、ボアホールの径がボーリング孔の孔間距離に比べて十分に小さい場合上式のように近似して良いと思われる。この様な条件についての(1)、(2)式の定常解析解はよく知られており、結局流速は次のような式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} v_x &= Q_i (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) / (2\pi\phi HR_1) \\ v_y &= Q_i (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) / (2\pi\phi HR_2) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ここでHは透水層の厚み(m)であり、 θ_1 、 θ_2 、 R_1 、 R_2 はFig. 22に示す通りである。

上式で与えられる流速を用いてガラーキン有限要素法により核種移行解析を行った。分散係数

は $D = \alpha |\vec{u}|$ (α は分散長) として与えた。また, SAI が行った試験に用いられたトレーサーは ^{131}I であり試験期間に比べて半減期は十分に長く, また非吸着性と考えられるトレーサーである。したがって遅延係数を 1, 崩壊定数を 0 とした。解析には, 流線と等圧力水頭線から構成されるメッシュを用いた (Fig. 23)。また, 境界条件は注入側ボーリング孔での境界で濃度を一定時間拘束し, その他の境界では $\partial c / \partial n = 0$ とした (Fig. 24)。

ここでは, SAI が実施した試験を解析した結果について述べる。この試験では回収された地下水の濃度の絶対値が得られておらず, 相対的な時間変化しかデータがないため破過曲線の解析においてはピークの高さを合わせることは意味を持たず, カーブの形を合わせることに焦点を当てた。フィッティングを行うために α および ϕH をパラメータとして用いた。

シミュレーション結果と実測結果を Fig. 25 に示す。カーブの形は, ピークを中心として左右非対称でありテール部が長いことが特徴である。計算結果は実測結果の特徴をかなり良く再現していると言える。またテール部が長いことは大きな円弧の流れ線に沿って遅れて到達する物質によるものと解釈することができる。得られた α および ϕH の値はそれぞれ 0.4 m および 0.035 m であったが, これは Gelhar らが流れ線に沿った 1 次元の解析解を利用した方法によって得た値 ($\alpha = 0.6 \text{ m}$, $\phi H = 0.032 \text{ m}$)¹¹⁾ に近い値である。 α の値が Gelhar らの結果に比べてやや小さいが, これは彼らの解析が流れ方向と垂直な方向の分散を無視しているのに対し, 今回行った 2 次元有限要素解析では等方性を仮定し, 横方向分散係数を縦方向分散係数と等しいと置いたことによる差異であると考えられる。

参考文献

1. H. Kimura, "The 2D-SEEP Computer Code User's Manual", JAERI-M 88-132, 1988.
2. H. Kimura and S. Muraoka, "The 3D-SEEP Computer Code User's Manual", JAERI-M 86-091, 1986.
3. P.S. Huyakorn and G.F. Pinder, "Computational Methods in Subsurface Flow", Academic Press, Inc., 1983.
4. P.S. Huyakorn, B.H. Lester and C.R. Faust, "Finite Element Techniques for Modeling Groundwater Flow in Fractured Aquifers", Water Resour. Res., 19(4), 1019-1035, 1983.
5. H. Kimura, "Mixed Finite Element Simulations in Two-dimensional Groundwater Flow Problems", in press.
6. H. Kimura and S. Muraoka, "Numerical Model of Radionuclide Migration in Geologic Media", Jour. of Nucl. Scie. and Tech., 20(6), 503-510, 1983.
7. D.H. Tang, E.O. Frind and E.A. Sudicky, "Contaminant Transport in Fractured Porous Media: Analytical Solution for a Single Fracture", Water Resour. Res., 17(3), 555-564, 1981.
8. P.S. Huyakorn, B.H. Lester and J.W. Mercer, "An Efficient Finite Element Techniques for Modeling Transport in Fractured Porous Media, 2. Nuclide Decay Chain Transport", Water Resour. Res., 19(5), 1286-1296, 1983.
9. K.G. Raven, "Hydraulic Characterization of a Small Groundwater Flow System in Fractured Monzonitic Gneiss", A Rep. on Hydrogeologic Res. Activities for AECL, Canada, 1985.
10. I. Neretnieks, T.E. Eriksen and P. Tähtinen, "Tracer Movement in a Single Fissure in Granitic Rock: Some Experimental Results and Their Interpretation", Water Resour. Res., 18(4), 849-858, 1982.
11. L.W. Gelhar, "Analysis of Two-well Tracer Tests with a Pulse Input", RHO-BW-CR-131 p, 1982.

Table 1 Elevation of fractures (m) (top of fractures)

BOREHOLE	FS-1	FS-2	FS-3	FS-4	FS-5	FS-6	FS-7	FS-8
FZ-1	75	75	79	85	91	88	81	98
FZ-2	103	97	105	106	107	---	99	---
FZ-3	---	93	---	---	---	98	---	---

BOREHOLE	FS-9	FS-10	FS-11	FS-13	FS-15	FS-16	FS-17
FZ-1	101	96	92	102	88	94	81
FZ-2	---	---	---	---	---	---	105
FZ-3	---	116	105	117	101	99	---

Table 2 Hydraulic conductivity for the best fit case

	k_{xx}	k_{yy}	k_{zz}	k_{xy}	k_{yz}	k_{zx}
LAYER- 2	1.0E-10	1.0E-10	3.0E-11	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 3	1.0E-10	1.0E-10	3.0E-11	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 4	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-10	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 5	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-10	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 6	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-10	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 7	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-10	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 8	5.0E-09	5.0E-09	5.0E-10	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER- 9	1.0E-08	1.0E-08	2.0E-09	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LAYER-10	1.0E-08	1.0E-08	2.0E-09	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
FZ-1	3.0E-06	3.0E-06	3.0E-06	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
FZ-2	3.0E-06	3.0E-06	3.0E-06	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
FZ-3	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
FZ-4	2.0E-07	2.0E-07	2.0E-07	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00

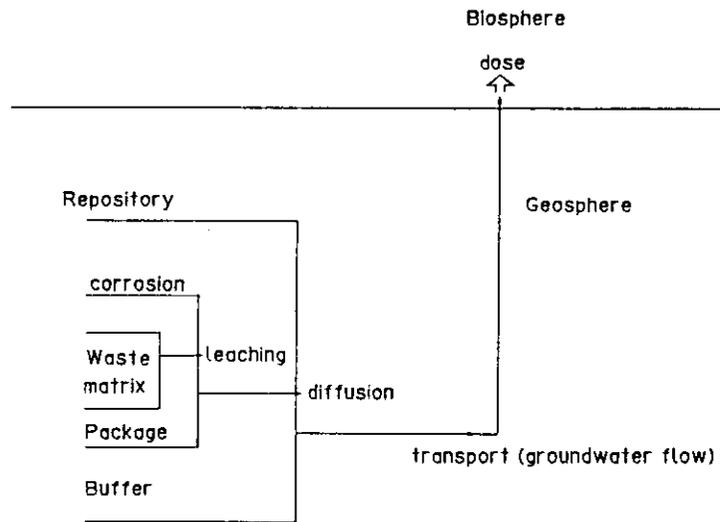


Fig. 1 Pathway from waste matrix to biosphere

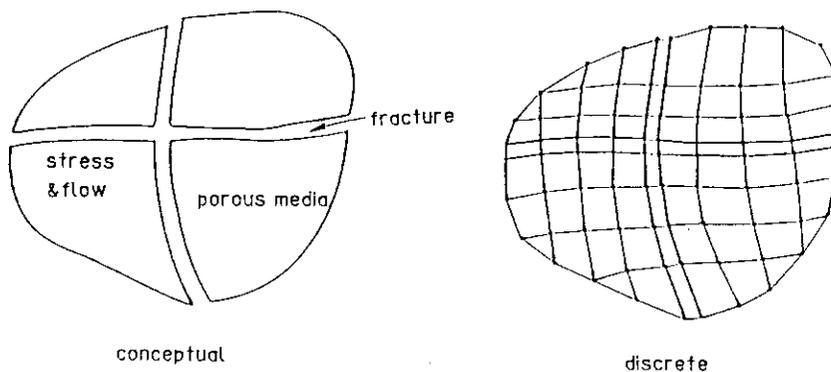


Fig. 2 Finite element representation of continuum and discrete features

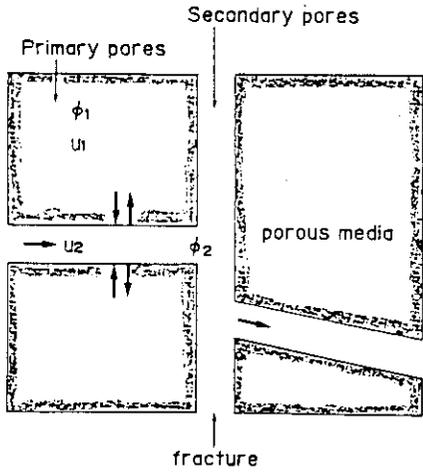


Fig. 3 Conceptual model for double porosity representation

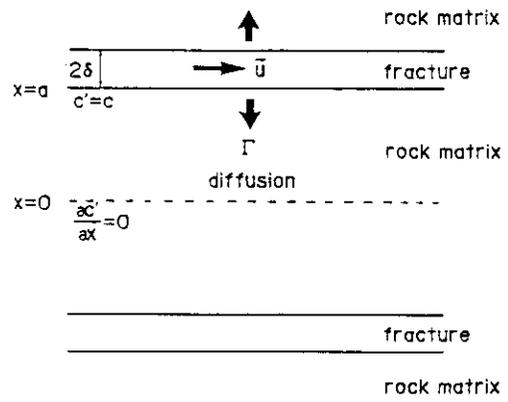


Fig. 4 Transport in fracture and matrix diffusion

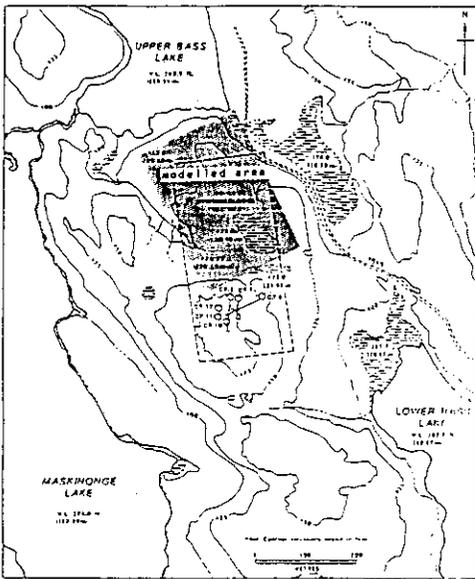


Fig. 5 Modelled area of Chalk River site

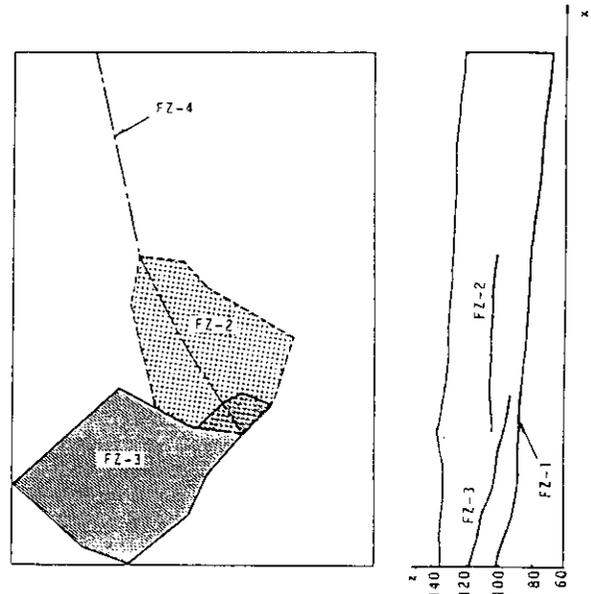


Fig. 6 Extension of fracture zones

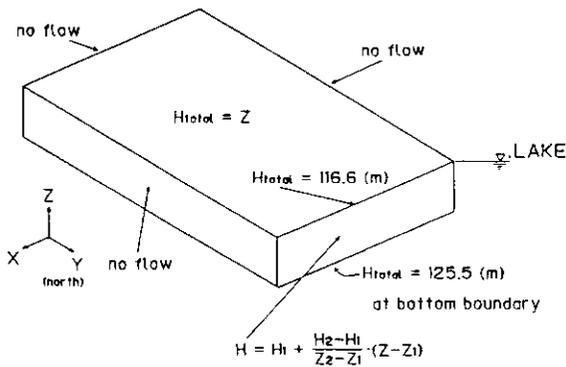


Fig. 7 Boundary conditions

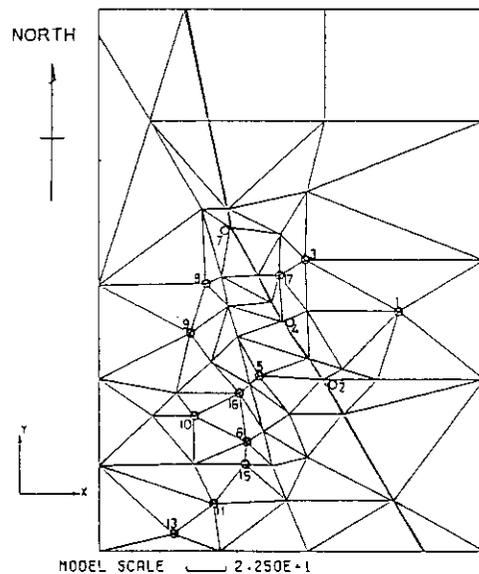


Fig. 8 Finite element grids and borehole positions

layer 10
layer 9
layer 8
layer 7 (FZ-2)
layer 6
layer 5
layer 4 (FZ-3)
layer 3
layer 2
layer 1 (FZ-1)

*Width of fracture = 1.0 (m)

Fig. 9 Finite element grids of 10 layers including 3 fracture zones

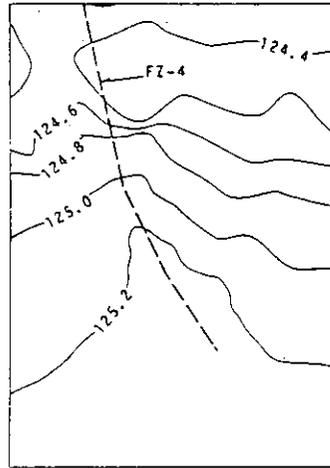


Fig. 10 Head distribution on FZ-1

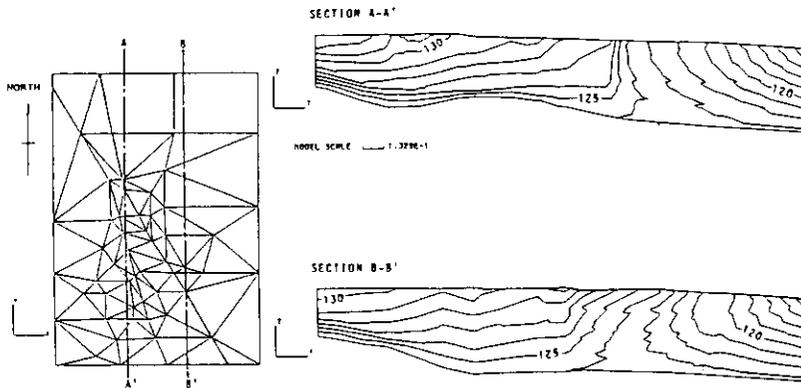


Fig. 11 Head distribution on vertical sections

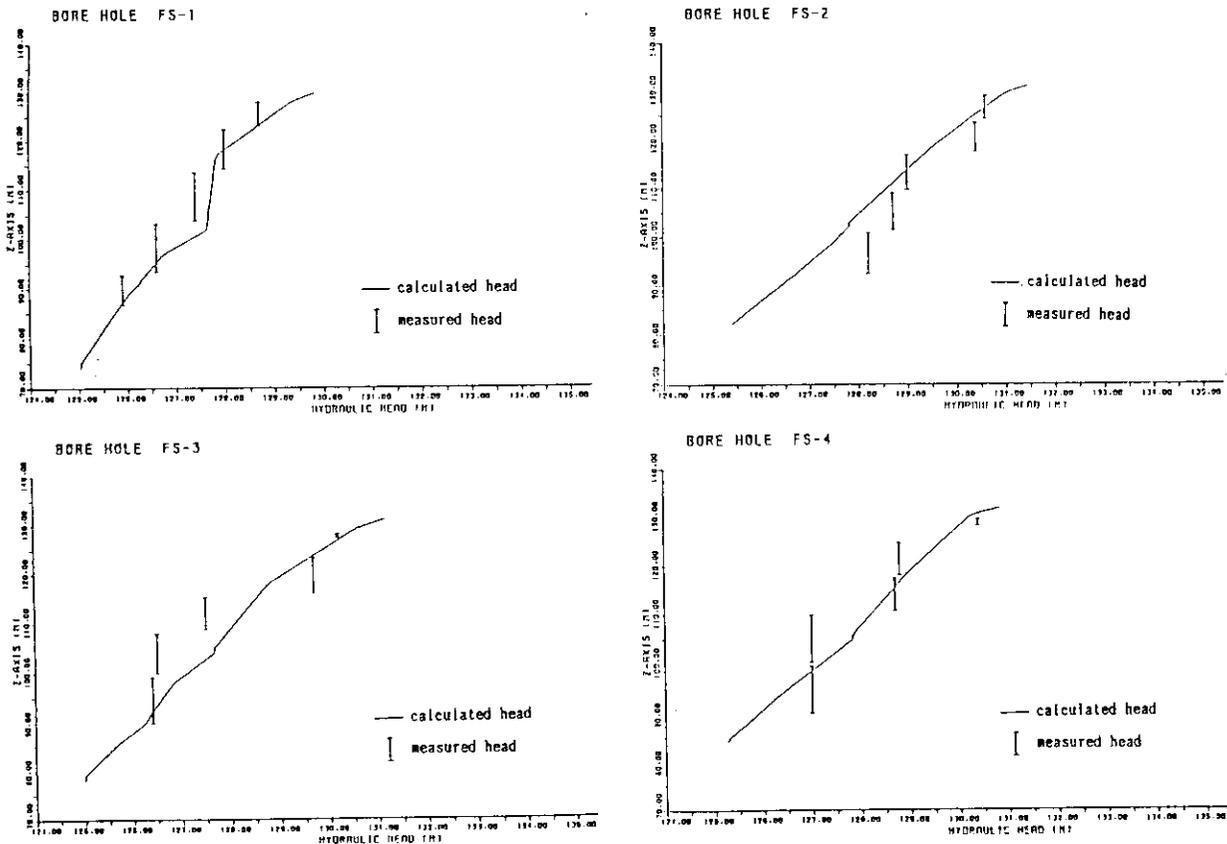


Fig. 12 Comparison between measured and calculated head (FS-10 closed)

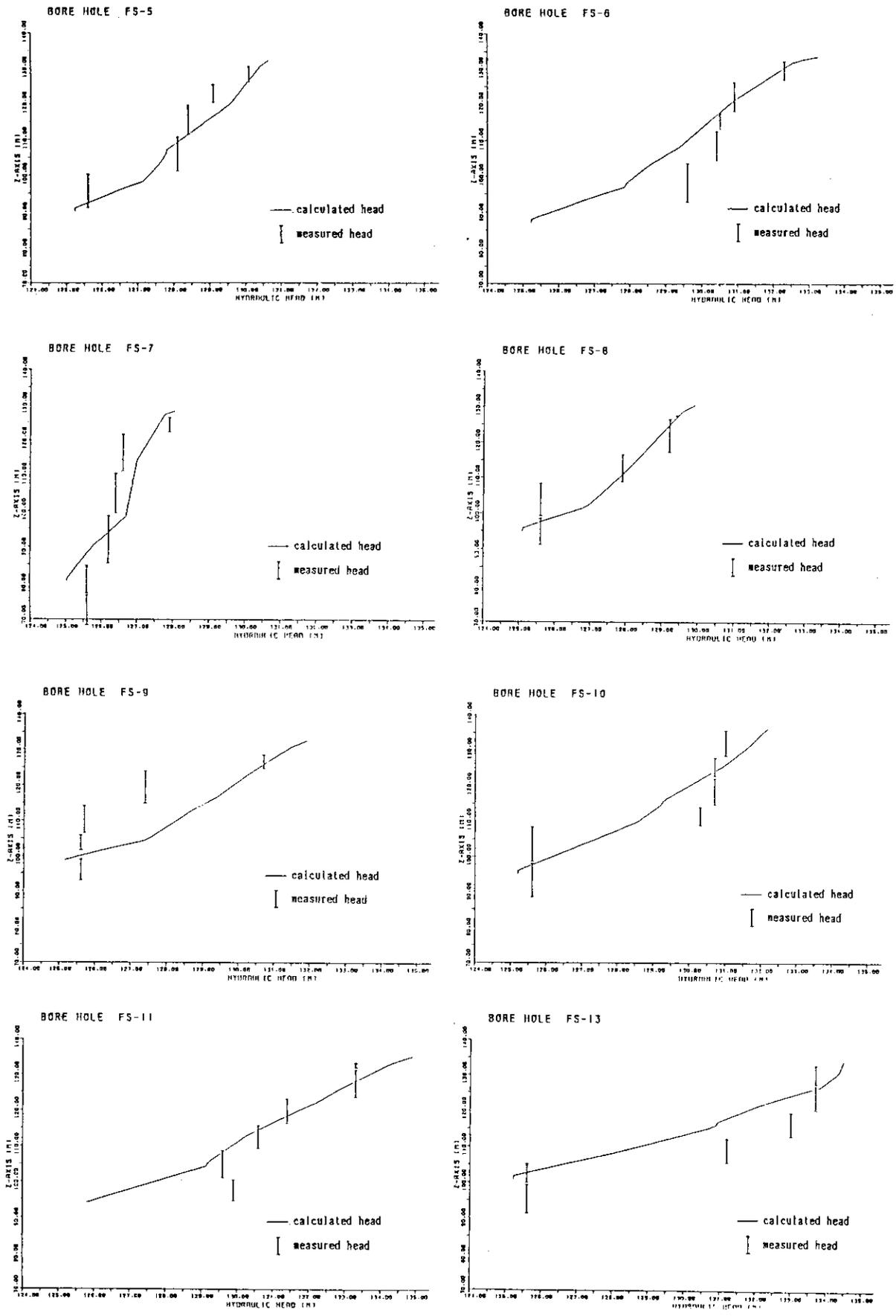


Fig. 13 Comparison between measured and calculated head (FS-10 closed)

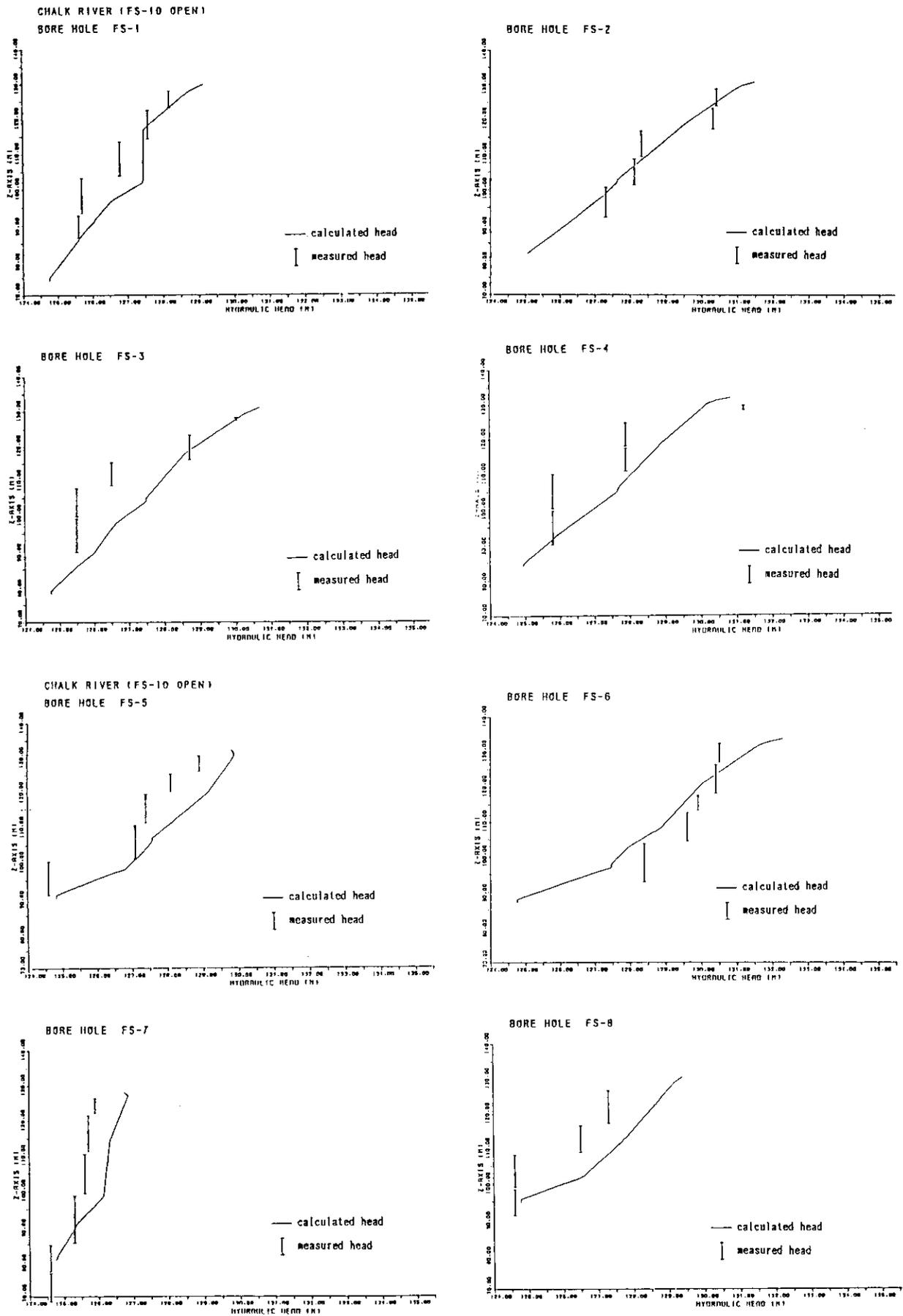


Fig. 14 Comparison between measured and calculated head (FS-10 open)

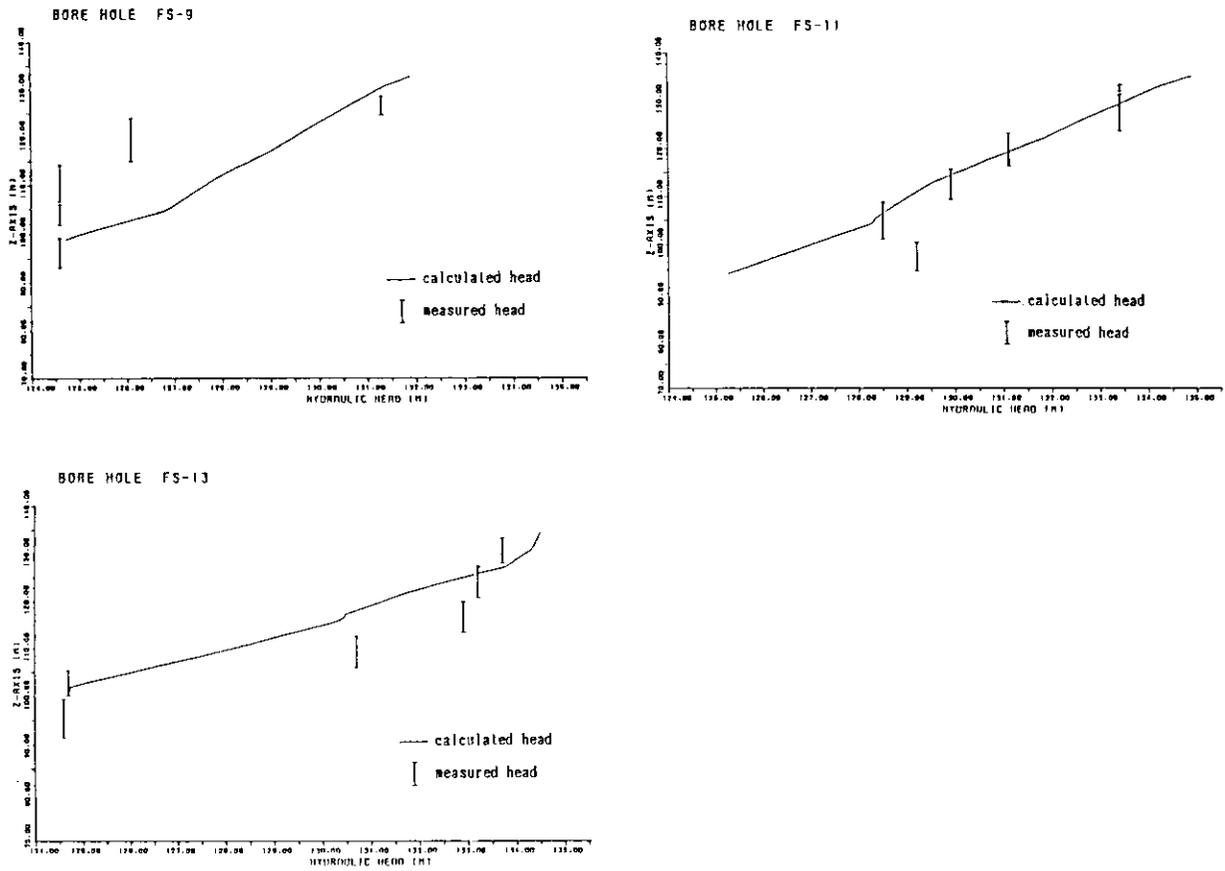


Fig. 15 Comparison between measured and calculated head (FS-10 open)

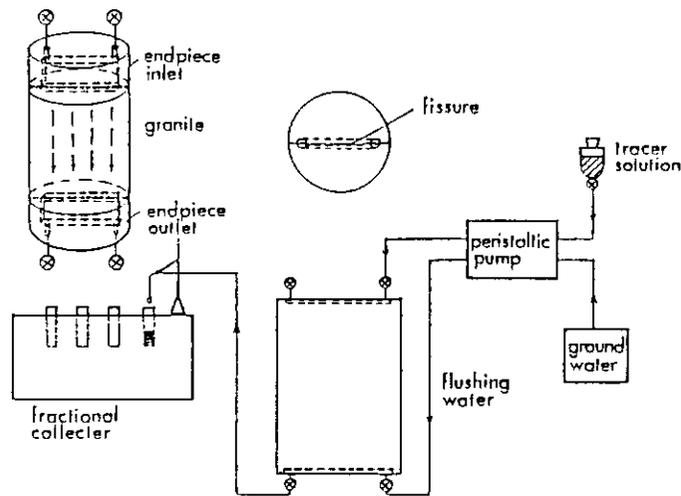


Fig. 16 Experimental setup

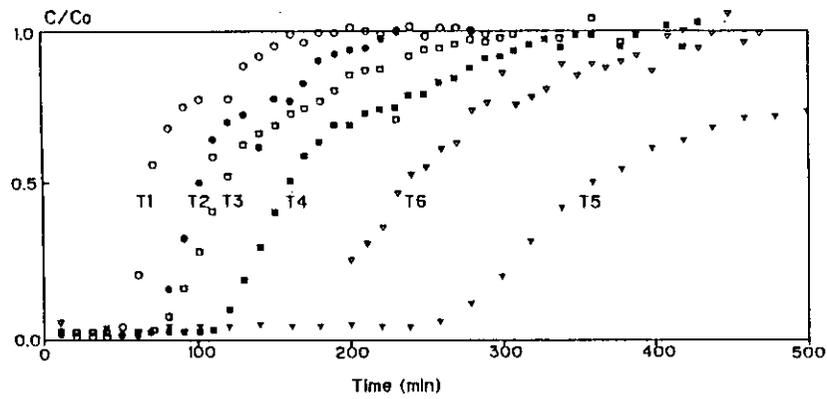


Fig. 17 Experimental breakthrough curves for THO runs

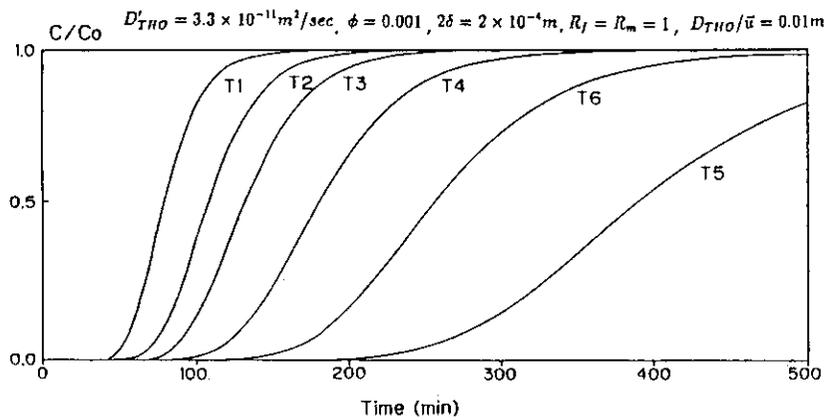


Fig. 18 Calculated breakthrough curves for THO runs

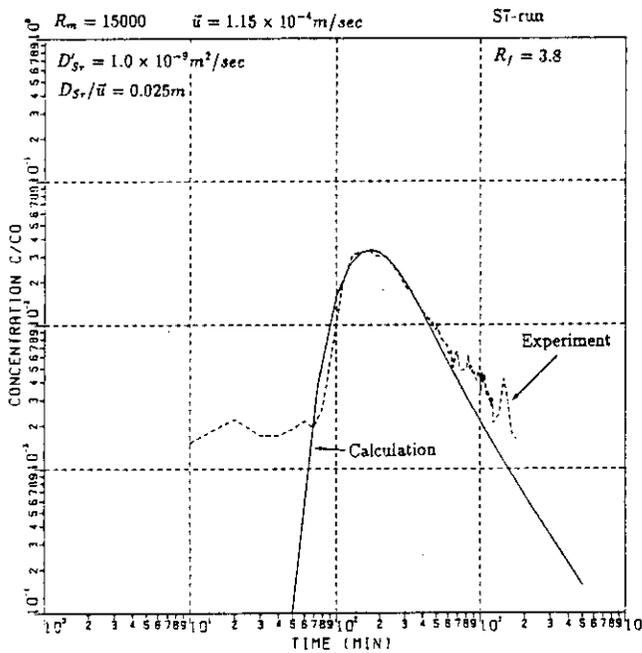


Fig. 19 Experimental and calculated breakthrough curves for S7 runs

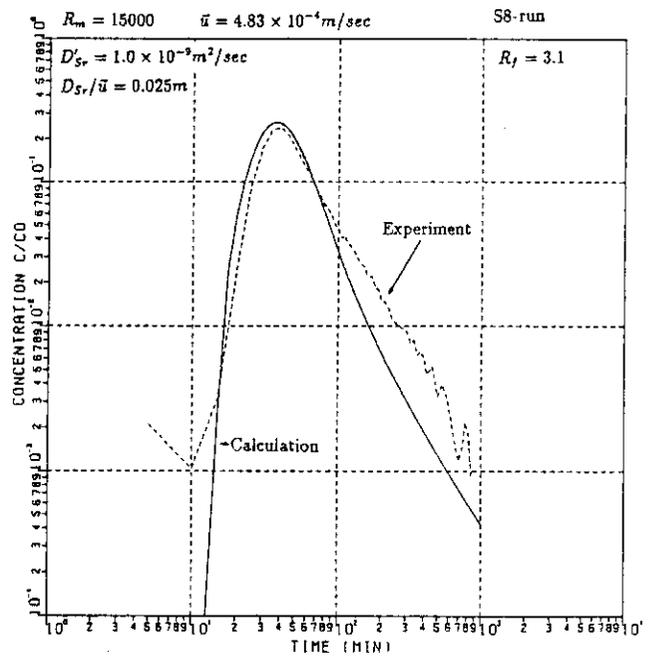


Fig. 20 Experimental and calculated breakthrough curves for S8 runs

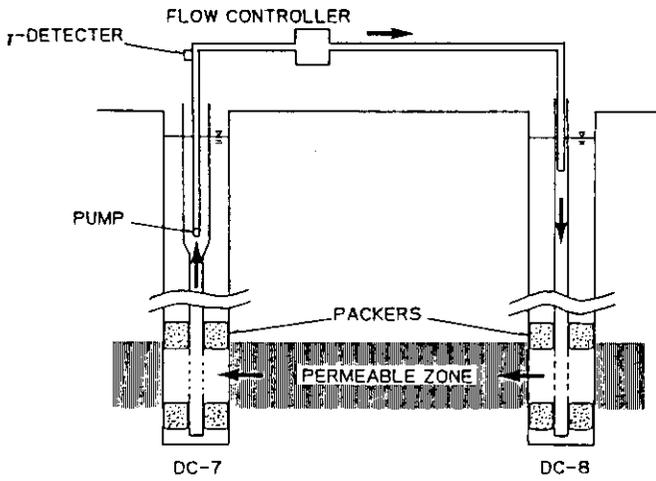


Fig. 21 Schematic of the field configuration at Hanford site

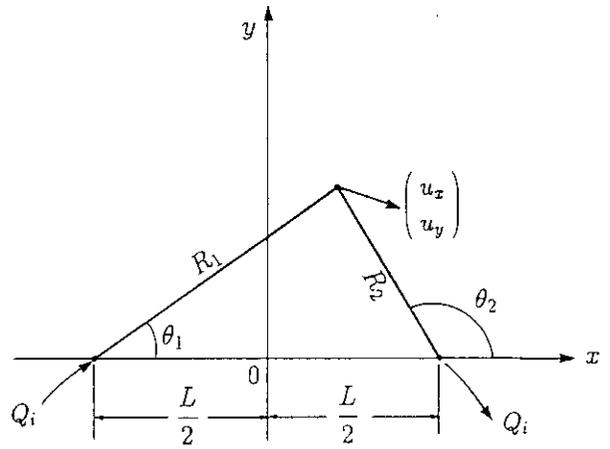


Fig. 22 Analytical velocity field

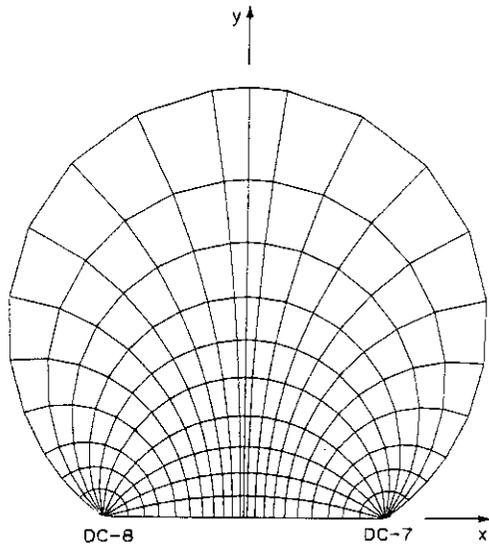


Fig. 23 Finite element grids

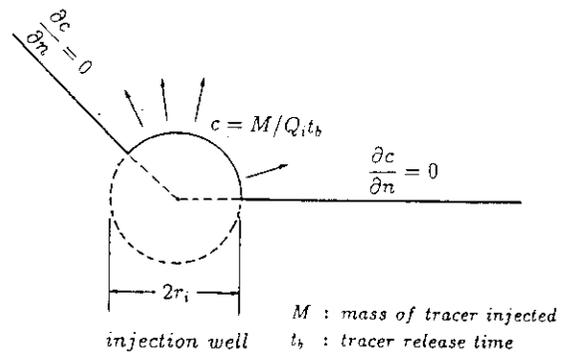


Fig. 24 Boundary conditions around the injection well

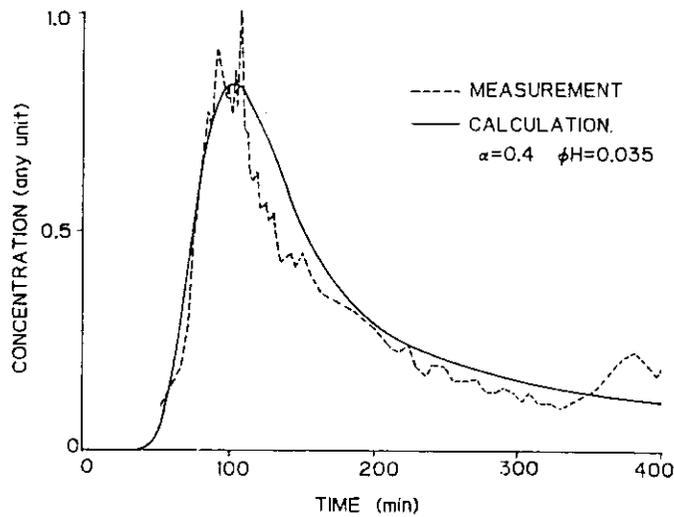


Fig. 25 Experimental and calculated breakthrough curves

7. Predicting the Transport of Contaminants in Geologic Media

T. H. Pigford, P. L. Chambre¹, W. W-L. Lee
Department of Nuclear Engineering

and

Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720

An invited paper to be presented at the 5th Topical Meeting on Nuclear Code Development, Japan Atomic Energy Research Institute, October 18, 1988.

This work was sponsored in part by the U. S. Department of Energy under Contract Number DE-AC03-76SF00098.

ABSTRACT

The purpose of a geologic disposal system for radioactive and other waste is to isolate the waste from the biosphere sufficiently so future generations will be protected. Well-designed disposal systems must function for tens of thousands of years and more, depending on the applicable performance criteria. Although waste solids are selected to release contaminants only slowly, small amounts of waste constituents will dissolve in ground water. The slowly moving contaminated water will eventually reach the biosphere. The design and regulation of geologic disposal systems require quantitative techniques to predict the rate of release of contaminants from waste solids and the rate of transport of the resulting contaminated ground water. Since its beginning in 1977, the Berkeley research group has specialized in the development of new theoretical techniques to make such predictions. We describe features of the new theories and illustrate the results.

INTRODUCTION

Assessing the long-term performance of geologic repositories for radioactive waste requires reliable quantitative predictions. We must predict rates of release of radionuclides from the waste into the rock, transport through the geologic media, cumulative release to the accessible environment, and maximum concentrations in ground water and surface water. Here we review theoretical approaches to making these predictions.

FAR-FIELD TRANSPORT

Predicting the hydrogeologic transport of dissolved radionuclides to the environment is a problem of "far-field" transport. Most radionuclides migrate as single decaying species. However, the transport of the toxic radionuclides Ra-226 and Pb-210 is controlled by the simultaneous transport of their precursors U-234 and Th-230. We have developed exact analytical solutions for the transport of radioactive decay chains. The transport can be with or without dispersion, with steady one-dimensional flow in a porous medium of infinite or finite extent [1,2]. These equations were used to predict the benchmark results for the Intracoin-1 calculations [3]. They have predicted environmental releases for model repositories in basalt, salt, and tuff for the Waste Isolation System Study [4].

The analyses have been extended to predict dispersion-free transport in a steady two-dimensional flow field. Another predicts transport in a one-dimensional flow field with a spatially dependent dispersion coefficient [5,6,7]. Other solutions predict transport in fractured rock with diffusion into and out of the rock matrix [8,9]. Many of these equations for porous media have been programmed into computer codes by repository projects. The fracture-flow analyses will be useful in making more detailed calculations of radionuclide migration to the environment.

To illustrate the application of our equations for far-field

transport of radionuclide chains, we assume a ground-water travel time to the biosphere of 1,000 years. Dissolution is congruent at a fractional release rate of 10^{-4} /yr. Other parameters are listed in [4,10]. Figure 1 show the relative contributions to the average annual dose a maximally exposed individual, as a function of the future time when the individual is exposed. Carbon-14, assumed not to sorb on the rock, is the main contributor up to 10,000 years. Neptunium-237 is the main contributor after a few hundred thousand years. Also important in that period is lead-210, a decay daughter in the chain involving U-234, Th-230, and Ra-226.

The peak concentrations of released radionuclides occur over many human lifetimes. Thus, the adequacy of long-term isolation can be measured by comparing the peak annual doses to a performance criterion, such as 10^{-4} Sv/yr. We wish to illustrate the effect of a major geological parameter, such as ground-water travel time, on the peak annual dose. We plot in Figure 2 the peak annual dose from each radionuclide, at whatever time it occurs, against the ground-water travel time. The data are calculated for unprocessed spent fuel, with solubility-limited dissolution [4,10]. The results show that, for ground-water travel times of 1,000 years and longer, the calculated peak annual doses from using contaminated surface water are all well below the suggested criterion.

NEAR-FIELD TRANSPORT

"Near-field" transport is concerned with mass-transfer from waste solids into ground water and into surrounding rock. This provides the source term for far-field calculations. Mass-transfer analysis in the U.S. programs was stimulated in 1981 by the National Research Council's Waste Isolation System Study [4]. There we questioned the assumptions that long-term dissolution rates in a geologic repository could be predicted from

laboratory data on leach rates of waste samples. The actual processes that affect dissolution rate are reaction of the waste solid with ground water at the waste surface and diffusion and convection of the dissolved species from the surface into ground water in surrounding rock. We recognized that the waste-solid matrix and most of its solid constituents are of low solubility.

We first calculated a reliable, though bounding, estimate of the dissolution rate of waste buried in rock. We assumed that the solution at the waste surface is saturated with individual waste constituents. We then solved the equations for diffusive-convective transport in a surrounding porous medium. Figure 3 shows the profiles of groundwater flow, the concentration of a dissolved radioelement, and the resulting plume of contaminated water flowing past a waste solid.

The diffusion-and-flow calculation [11] makes use of the known distribution of ground-water velocities around an infinite cylinder, through pores in the surrounding rock. Assume Darcy flow, the velocity distribution is mathematically equivalent to the "potential flow" of theoretical hydrodynamics. The rate of diffusion through such a fluid is represented by Fick's Law, using a coefficient for molecular diffusion in the liquid in the rock pores. For these estimates we assume a diffusion coefficient equal to that in a free liquid, conservatively disregarding the tortuosity of the pores.

The fractional release rate f_i of a nondecaying elemental species, and of its isotopes, is calculated at steady state to be:

$$f_i = \frac{8\epsilon N_i^* (DU)^{1/2} (1+R/L)}{(\pi R)^{3/2} n_i} , \quad \frac{UR}{D} > 4 \quad (1)$$

where N_i^* is the concentration (g/cm^3) in the ground water at the waste

surface, D is the diffusion coefficient in water, L is the length of the waste cylinder, R is its diameter, U is the pore velocity of the ground water before it comes near the waste, ϵ is the porosity of the surrounding rock, and n_i is the bulk density (g/cm^3) of the elemental species i in the waste. To predict the maximum dissolution rate, N_i^* is the solubility.

The more detailed equations for time-dependent dissolution rate are given in [11]. The time to come to steady state increases if the dissolving species sorbs on the rock. This is illustrated in Figure 4, which shows the normalized dissolution rate as a function of time for various values of the sorption retardation coefficient K . Increasing sorption increases the transient dissolution rate because sorption steepens the transient concentration gradient. Similarly, the smaller the half life, the greater the dissolution rate [12].

Chambre's exact analytical solutions [11] showed that the limiting mass-transfer rates for the buried waste are slow. For typical waste solids, such as borosilicate glass or unreprocessed spent fuel, the mass-transfer-limited dissolution rate is much less than that exhibited in laboratory experiments. In a repository the actual dissolution rate is expected to be limited by diffusive-convective transport in pores and fractures in the rock and not by chemical reaction at the waste surface.

Low ground-water flows are predicted for U.S. repository programs. Here, the mass transfer from waste in contact with rock is expected to be controlled by molecular diffusion in the rock. It is little affected by convection.

A more detailed analysis [13] used experimental chemical reaction rate data as a boundary condition for the diffusion mass-transfer analysis. It showed the conditions and time span during which chemical reaction rate could control the dissolution rate. This time span is so short as to be unimportant for borosilicate glass and for spent fuel. A more general

analysis [14] of steady-state diffusive-convective mass transfer from a waste sphere covers the entire range of ground water flow. The near-field analytical solutions have been extended also to include the effect of a backfill layer between waste solid and rock [12,15,16] and the mass-transfer of the highly soluble cesium and iodine "gap" activity in spent fuel [17]. These basic mass-transfer equations were incorporated into PNL's AREST code [18] for predicting waste-form performance.

We have extended the mass-transfer analyses to include:

- a. the effect of repository heating on mass transfer of both low-solubility and soluble species [19],
- b. the time-dependent diffusive release of radionuclide chains through backfill into rock [20],
- c. the time-dependent diffusion of low-solubility species through backfill into a rock fracture, and
- d. the time-dependent diffusive release of low-solubility species into porous rock matrix and rock fractures [21].

The effect of a porous backfill between the waste solid and rock is illustrated in Figure 5. The solid waste is approximated by a sphere of surface area equal to that of the waste cylinder. The water in the backfill pores is stagnant. Flow in the surrounding rock is low enough that the zero-flow approximation applies. Radioactive decay is included. The time-dependent mass transfer rate is divided by the saturation concentration N at the inner surface of the backfill. Solid curves show the mass-transfer rate into backfill. Broken curves show the mass-transfer rate into rock. We show curves for various values of the half life of the radioactive contaminant.

For neptunium-237, with a half life of 2.1×10^6 years, corrections for

decay are minor. For carbon-14, with a half life of 5730 years, decay increases the rate of mass transfer into the backfill. It also increases the mass transfer rate into the rock, compared with that for a stable species. For a half life as short as 15.3 years, decay increases the mass transfer rate into the backfill. However, this half life is short enough that the species decays away while diffusing through the backfill. Thus, there is a range of half lives for which the rate of mass transfer into the rock is greater than the steady-state value for no decay.

The near-field analyses can be applied to all repository projects, including a repository in unsaturated tuff or sediments or moist rock contact waste packages. Studies underway include the effect of water flow in backfill and the effects of nonuniform chemical environment that can cause precipitation of dissolved species in the media away from the waste surface.

Our studies of radionuclide releases from waste solids in a salt repository led to the expectation that, except a short time after waste emplacement, releases will be controlled by diffusive-convective mass transfer into brine in grain boundaries of the consolidated salt surrounding a waste package [22]. Our analyses of the time-dependent migration of grain-boundary brine after consolidation [23] can be used to predict the transient convective effects in salt. Examples of diffusion calculations of release rates into salt have been given [24]. The equations for transient release to porous and fractured rock can be applied to non-halite interbeds in a salt repository.

INTERMEDIATE-FIELD TRANSPORT

"Intermediate-field" transport concerns radionuclide migration from arrays of discrete waste packages. Our analytical solutions [6,25,26] of the multidimensional advective transport from waste-package arrays show:

- a. a near region in which the concentrations vary greatly in the direction transverse to ground-water flow,
- b. an intermediate region in which the array can be treated as an infinite plane source of dissolving species, and
- c. a far-field region in which the array can be treated as a plane source of finite extent.

The array equations have been developed for both porous and fractured media. These intermediate-field analyses will be useful in making detailed predictions of releases to the environment.

To illustrate, we consider a waste repository with waste packages arranged in a square array with pitch d , as in Figure 6. A planar fracture of aperture $2b$ and of infinite extent intersects the waste packages. Contaminants are released only into the fracture. The part of each waste package exposed to the fracture is a plane of dimensions $2a, 2b$. We consider advection and transverse dispersion in the fracture. Equilibrium sorption occurs at fracture walls and within the rock matrix. Dissolved contaminants diffuse through the fracture walls, into and out of the rock matrix [26].

In Figure 7 we show the ratio of concentration from the multiple-patch sources to the concentration that would result from a single, infinite source of equivalent areal strength. The ratio is plotted against the distance parameter, $\sqrt{zD/v}$, where z is the downstream distance, D the transverse dispersion coefficient in the fracture, and v the ground-water velocity. The number of waste packages in the array varies from 10 to 80. In the near-field region, there are plumes around individual waste packages. The concentration ratio is large if the z coordinate intersects a waste package. It becomes small if the z coordinate lies between two waste packages [26].

At an intermediate distance transverse dispersion merges the individual plumes. Here the concentration ratio becomes unity. Contaminant transport can then be adequately predicted by simple equations based on an equivalent plane source. In the far field the multiple-patch concentration becomes less than the infinite-source concentration because of transverse dispersion at the outer edges of the finite-width plume. In this region the concentration field can be adequately predicted by replacing the individual sources by a single finite plane source of equivalent source strength. Figure 7 is valid for any contaminant, rock, and time [26].

SUMMARY

An extensive body of analytical theory exists to predict the isolation performance of geologic repositories. Special features of analytic solutions for this application are:

- o They can be used to benchmark nonanalytic numerical calculations.
- o They identify the functional forms and importance of the design variables and parameters.
- o Their theoretical framework can be examined and tested, essential to developing valid predictions of long-term performance.
- o Their generality provides flexibility for multi-variable system optimization.

Further analyses must address details such as fracture networks, release of gaseous species, nonuniformities in chemical environment, water flow in backfill, transport asymmetries, layered media, unsaturated media, precipitation away from waste surfaces, and transition from near-field to far-field transport.

REFERENCES

1. M. Harada, P. L. Chambre`, M. Foglia, K. Higashi, F. Iwamoto, D. Leung, T. H. Pigford, and D. Ting, "Migration of Radionuclides Through Sorbing Media: Analytical Solutions," Report LBL-10500, 1980.
2. H. C. Lung, P. L. Chambre`, T. H. Pigford, and W. W.-L. Lee, "Transport of Radioactive Decay Chains in Finite and Semi-Infinite Porous Media," Report LBL-23987, 1987.
3. "INTRACOIN, Final Report Level 1, Code Verification," Report SKI 84:3, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, September, 1984.
4. T. H. Pigford, J. O. Blomeke, T. L. Brekke, G. A. Cowan, W. E. Falconer, N. J. Grant, J. R. Johnson, J. M. Matussek, R. R. Parizek, R. L. Pigford, and D. E. White, "A Study of the Isolation System for Geologic Disposal of Radioactive Wastes," National Academy Press, Washington, 1983.
5. D. K. Ting, P. L. Chambre`, and T. H. Pigford, "Radionuclide Migration in a Two-Dimensional Flow Field," Trans. Am. Nuc. Soc., 39, 176, 1981.
6. T. H. Pigford, P. L. Chambre`, M. Albert, M. Foglia, M. Harada, F. Iwamoto, T. Kanki, D. Leung, S. Masuda, S. Muraoka, and D. Ting, "Migration of Radionuclides Through Sorbing Media: Analytical Solutions - II," Report LBL-11616,
7. C. H. Kang, P. L. Chambre`, and T. H. Pigford, "One-Dimensional Advective Transport with Variable Dispersion," Trans. Am. Nuc. Soc., 50, 140, 1985.
8. J. Ahn, P. L. Chambre`, and T. H. Pigford, "Nuclide Migration Through a Planar Fissure With Matrix Diffusion," Report LBL-19429, 1985.
9. J. Ahn, P. L. Chambre`, and T. H. Pigford, "Radionuclide Migration Through Fractured Rock: Effect of Multiple Fractures and Two-Member Decay Chains," Report LBL-21121, 1985.
10. T. H. Pigford, "The National Research Council Study of the Isolation System for Geologic Disposal of Radioactive Waste" Scientific Basis for

- Nuclear Waste Management VII, G. L. McVay (ed.) 985-1008, Materials Research Society, Pittsburgh, 1983.
11. P. L. Chambre[~], T. H. Pigford, Y. Sato, A. Fujita, H. Lung, S. Zavoshy, R. Kobayashi, "Analytical Performance Models", LBL-14842, 1982.
 12. P. L. Chambre[~] and T. H. Pigford, "Predictions of Waste Performance in a Geologic Repository," Scientific Basis for Nuclear Waste Management VII, G. L. McVay (ed.) 985-1008, Materials Research Society, Pittsburgh, 1983.
 13. S. J. Zavoshy, P. L. Chambre[~], and T. H. Pigford, "Mass Transfer in a Geologic Environment," Scientific Basis for Nuclear Waste Management VIII, C. M. Jantzen, J. A. Stone, and R. C. Ewing (eds.) 311-312, Materials Research Society, Pittsburgh, 1985.
 14. P. L. Chambre[~], C. H. Kang, W. W.-L. Lee, and T. H. Pigford, "The Role of Chemical Reaction in Waste-Form Performance," Scientific Basis for Nuclear Waste Management XI, M. J. Apted and R. E. Westerman (eds.) Materials Research Society, Pittsburgh, 1988.
 15. P. L. Chambre[~], H. C. Lung, and T. H. Pigford, "Mass Transport From a Waste Emplaced in Backfill and Rock," Trans. Am. Nuc. Soc., 44, 112, 1983.
 16. H. C. Lung, P. L. Chambre[~], and T. H. Pigford, "Transport of Radioactive Chains Through Backfill," Report LBL-21698, 1986.
 17. C. L. Kim, P. L. Chambre[~], and T. H. Pigford, "Mass-Transfer-Limited Release of a Soluble Waste Species," Report LBL-20899, 1986.
 18. A. M. Liebetrau, M. J. Apted, D. W. Engel, M. K. Altenhofen, C. R. Reid, D. M. Strachan, R. L. Erikson, and K. I. Johnson, "The Analytical Repository Source-Term (AREST) Model: Description and Documentation," Pacific Northwest Laboratory Report PNL-6346, 1987.
 19. C. L. Kim, P. L. Chambre[~], and T. H. Pigford, "Mass-Transfer-Limited Release of a Soluble Waste Species," Trans. Am. Nuc. Soc., 52, 80, 1986.

20. P. L. Chambre[~], H. C. Lung, and T. H. Pigford, "Mass Transfer of a Radioactive Chain Through Backfill", Am. Nuc. Soc., 52, 78, 1986.
21. J. Ahn, P. L. Chambre[~], and T. H. Pigford, "Transient Diffusion From a Waste Solid Into Fractured Porous Rock", Report LBL-24756, 1988.
22. T. H. Pigford and P. L. Chambre[~], "Mass Transfer in a Salt Repository," Report LBL-19918, 1985.
23. Y. Hwang, P. L. Chambre[~], W. W.-L. Lee, and T. H. Pigford, "Pressure-Induced Brine Migration Within Consolidated Salt in a Repository," Trans. Am. Nuc. Soc., 55, 132, 1987.
24. P. L. Chambre[~], Y. Hwang, W. W.-L. Lee, and T. H. Pigford, "Release Rates from Waste Packages in a Salt Repository," Trans. Am. Nuc. Soc., 55, 134, 1987.
25. C. L. Kim, P. L. Chambre[~], W. W.-L. Lee, and T. H. Pigford, "Radionuclide Transport From an Array of Waste Packages in a Geologic Repository," Trans. Am. Nuc. Soc., 54, 109, 1987.
26. J. Ahn, P. L. Chambre[~], T. H. Pigford, and W. W.-L. Lee, "Radionuclide Dispersion From Multiple Patch Sources Into a Rock Fracture," Report LBL-23425, 1987.

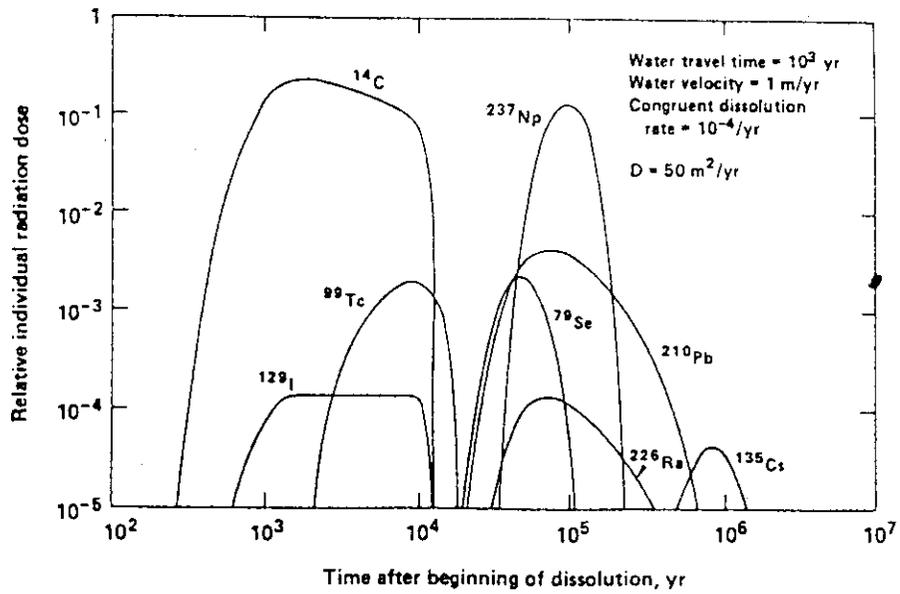


Fig. 1 Relative individual radiation dose as a function of time for basalt, reprocessing waste, congruent dissolution

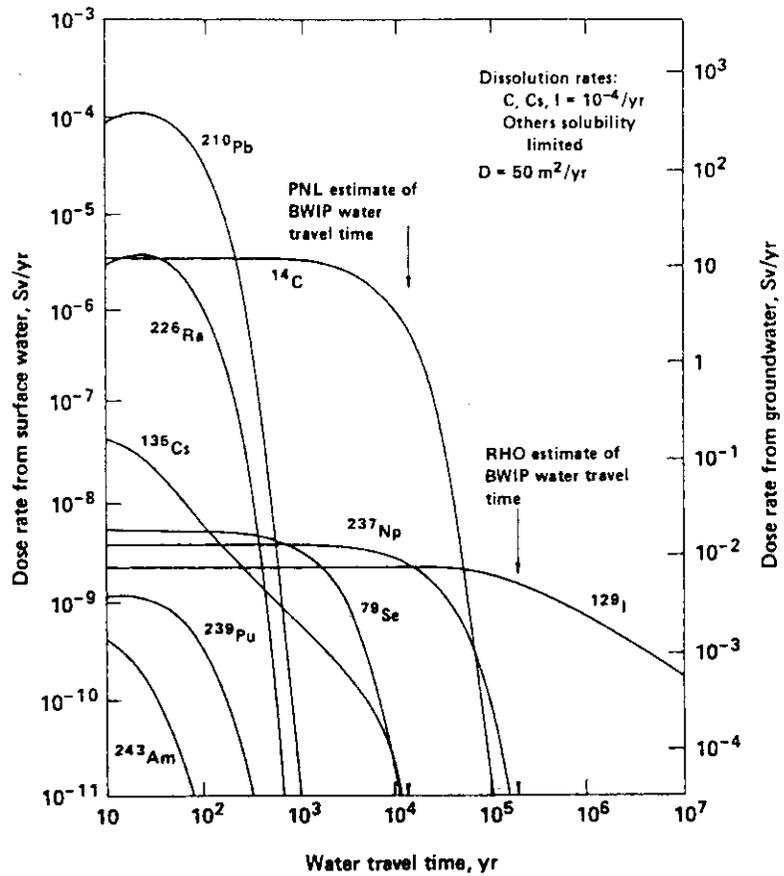


Fig. 2 Individual radiation dose as a function of water travel time for basalt, spent fuel, solubility-limited dissolution (dispersion coefficient = 50 m²/yr).

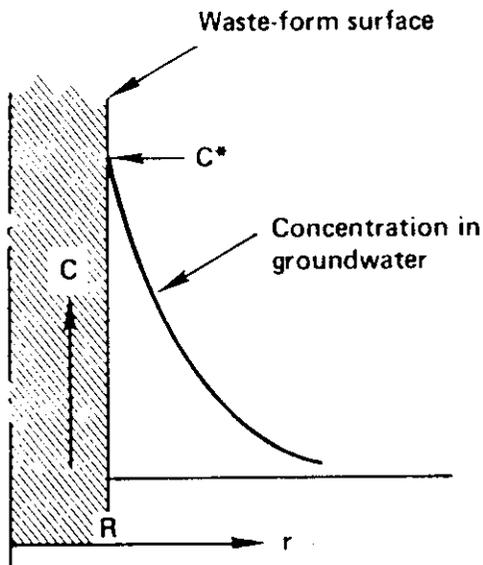
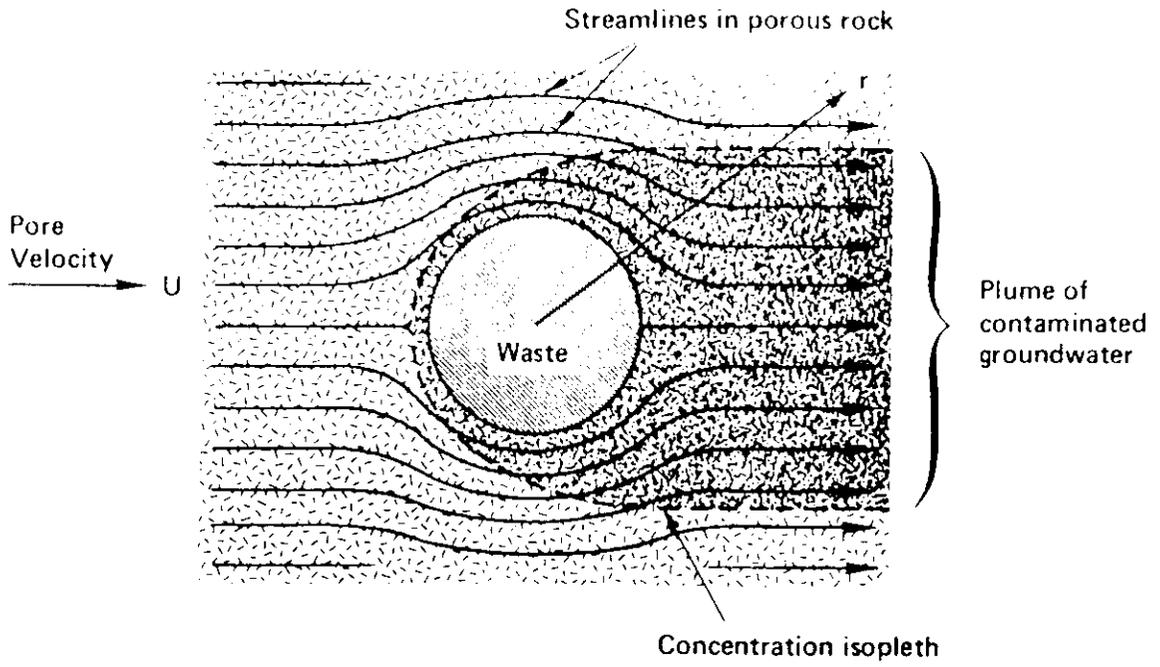


Fig. 3 Velocity and concentration profiles for ground water flowing around a waste cylinder.

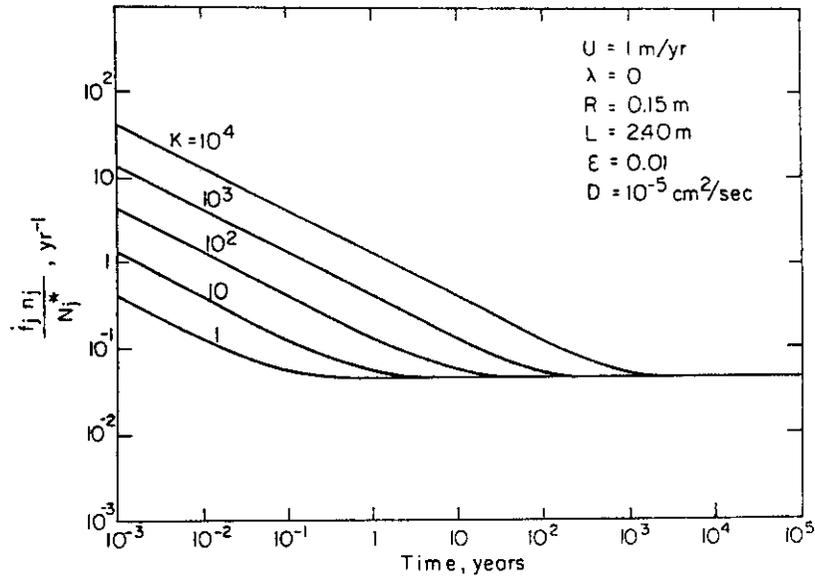


Fig. 4 Normalized mass-transfer rate as a function of time and retardation coefficient (K); flow around a waste cylinder.

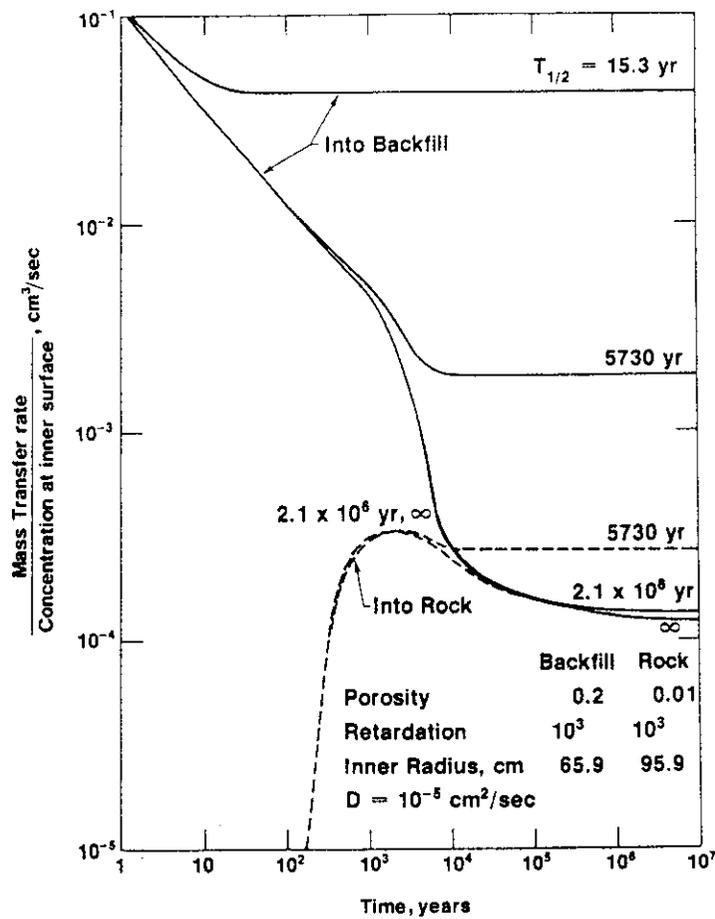


Fig. 5 Normalized mass-transfer rate as a function of time and radioactive-decay half life; diffusion from a waste sphere.

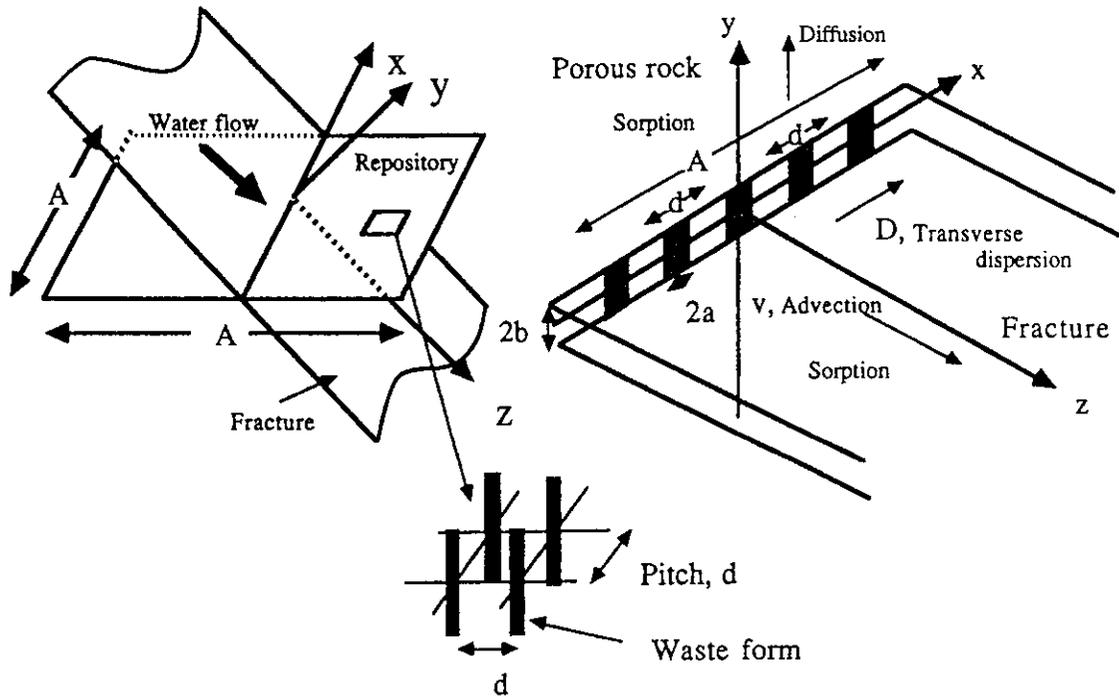


Fig. 6 Relation between a planar fracture and a geologic repository.

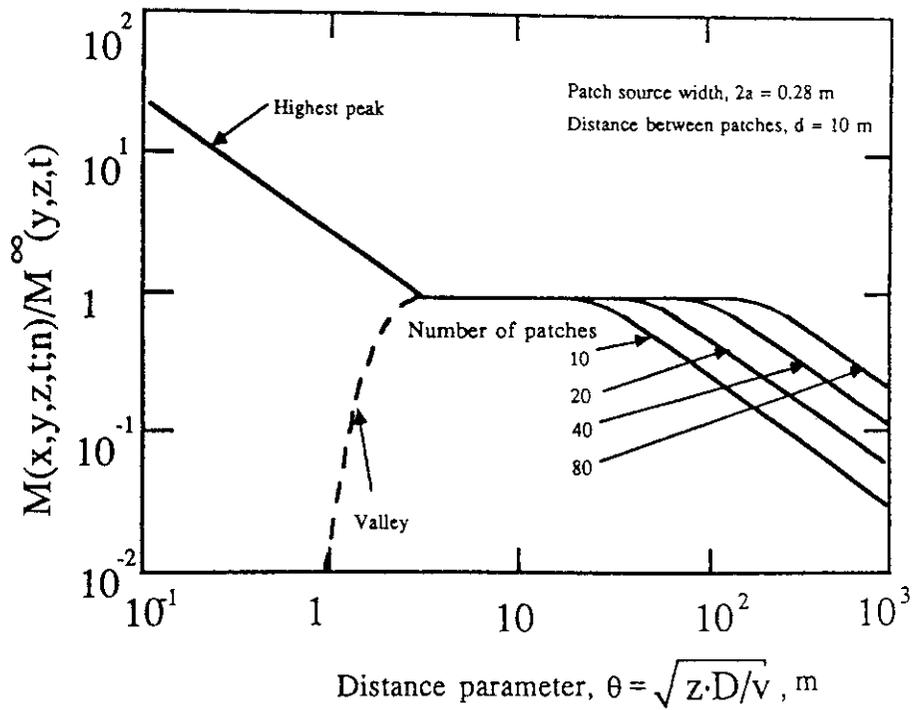


Fig. 7 Comparison of the concentration calculated for multiple waste packages (n = number of packages) with the concentration calculated for an infinite plane source.

8. 閉会の辞

金子義彦（炉物理研究委員会委員長）

今年で「原子力におけるソフトウェア開発」研究会も5回目を迎えるに致りました。講師の方々、さらには、この研究会をささえる多数の人々の御努力により、今年も盛会のうちに本会合を終了することができ厚く御礼申し上げます。

この研究会は、原研・日本原子力学会の両方にまたがる特別委員会である炉物理委員会と原子力コード委員会の共催によるもので、炉物理をはじめ原子力関係のソフトウェアの研究開発について、各分野で研究を先導的に進めておられる方々から、研究の方向・研究を進める上での現状での課題についての御意見を伺い、さらに、相互に討論を行い、問題解決の方策をさぐり相互理解を深め、併せて、原子力全体の研究開発の推進に寄与することをねらっております。今年もプログラムの編成にあたっては、両委員会から幹事の方々を中心とする議論があったわけですが、やや例年と趣きの異なる二つの問題が取り上げられました。一つはネットワークであり、もう一つがシミュレーションでありました。

前者を取上げた理由は、今年は身の回りの問題に眼をむけようということで、LANとBITNETについてよく御説明いただきました。ソフト開発の耳というか足腰というか、足もとの環境整備についての大事さを教えていただいたように思います。

次にシミュレーションですが、まずチェルノブイル事故時の放射性物質の地球規模シミュレーションについてお話しいただきました。日頃大気の移動について計算されていて、その状態で放射性物質を入れるとどう拡散されるか答えを出されているのに感銘しています。大気の動きをとらえるため気象学に数値解析が導入されて、もう相当時間がたちましたが、いよいよ計算機によるシミュレーションが信頼を獲得しながら実現しつつあるという印象を受けました。

続いて、発電所からの温排水に関するシミュレーションの後、廃棄物の地層処分について放射性物質で汚染された水及びガスの拡散シミュレーションについての御説明がありました。私には日頃からこのような問題についてはモデル化がそう簡単でないと考えておったところ、約10年間の地道な研究により、かなり定量的な評価が可能な手法が開発されているようで、敬服いたします。この問題につきましては、世界的権威であるPigford教授に御講演いただきましたが、NEDACの御厚意により実現致しましたことを大変感謝しております。

さて、これで私の閉会の辞は終わるのですが、次回について簡単に予定をお話します。現在、原研では、来年度末になると思いますが原子力におけるスーパーコンピュータの適用について国際会議を催したいとして準備が進められておりました、これをもって第6回の研究会としたいと考えます。

このスーパーコンピュータの国際会議では、

- 1) 高速数値シミュレーション、画像処理、コンピュータ支援自動制御その他 AI 技術等に関する

るスーパーコンピュータ利用技術の向上を図る。さらに、
2) 革新的技術の適用に努力している機関相互の情報及び人的交流を促進することにより、原子力の一層の発展に寄与しようというものであります。

来年も一堂に会しまして、ソフトウェアの研究の発展について語り合いたいと考えておりますのでよろしく御協力お願い致します。それでは、第5回の「原子力ソフトウェア開発」研究会を閉会させていただきます。繰り返しますが、多数の皆様に御参加いただき誠にありがとうございました。

付録 研究会出席者名簿

原子力コード研究委員会・炉物理研究委員会 合同研究会 所外出席者名簿（順不同）

氏名	会社名	氏名	会社名
関谷 全	大阪大学	楠野 貞夫	日本原子力事業(株)
中土井 昭三	東海大学	奥村 芳弘	石川島播磨重工業(株)
金井 康二	運輸省船舶技術研究所	折居 茂夫	富士通(株)
渡部 隆	川崎重工業(株)	落合 英二	三菱原子力工業(株)
松延 廣幸	住友原子力工業(株)	近藤 悟	動力炉・核燃料開発事業団
古田 一雄	東京大学	寺門 正吾	(財)原子力工学試験センター
武田 高明	四国電力(株)	野々宮 巖	富士通(株)
小林 康弘	日立製作所エネルギー研究所	藤村 統一郎	(財)原子力データセンター
仁科 浩二郎	名古屋大学	三竹 晋	(財)原子力工学試験センター
大竹 巖	(株)アイ・エス・エル	川合 将義	日本原子力事業(株)
金子 邦男	日本情報サービス(株)	鈴木 悠三	原子力システム(株)
鷹見 益夫	センチュリリサーチセンタ(株)	山本 朝男	日立エンジニアリング(株)
岩崎 智彦	東北大学	小原 徹	日本原子力事業(株)
中田 耕太郎	日本原子力事業(株)	竹内 豊	〃
森 清治	川崎重工業(株)	工藤 清一	三菱原子力工業(株)
福本 亨	センチュリリサーチセンタ(株)	大岩 彰夫	日立造船(株)
林田 芳久	日本原子力事業(株)	桜井 史郎	三菱原子力工業(株)
竹村 守雄	川崎重工業(株)	高橋 善明	〃
小野 幹訓	三井造船(株)	池田 康博	〃
鎌田 稔	センチュリリサーチセンタ(株)	久保田 和雄	石川島播磨重工業(株)
亀山 隆司	日本ユニバック(株)	石川 寛	(財)原子力データセンター
小机 わかえ	ニュークリア・データ(株)	原田 吉之助	〃
佐藤 一雄	動力炉・核燃料開発事業団	久保 正雄	埼玉大学分析センター
高橋 亮一	東京工業大学	廣瀬 健	早大情報科学研究教育センター

氏名	会社名	氏名	会社名
植木 紘太郎	運輸省船舶技術研究所	木村 富士男	気象庁気象研究所
関本 博	東京工業大学	片野 尚明	(財)電力中央研究所
本多 正典	富士通㈱	岩田 修一	東京大学
宮澤 正幸	NTT通信網総合研究所	中沢 正治	〃
大石 東作	工業技術院電子技術総合研究所	山野 直樹	住友原子力工業㈱
阿部 芳彦	名古屋大学プラズマ研究所	上原 国男	日本原子力発電㈱
及川 護	㈱情報数理研究所	松本 武彦	富士通㈱
橋本 博	動力炉・核燃料開発事業団	小関 長人	原子力システム㈱
菰田 成一	〃	熊田 正幸	富士通㈱
弘田 実弥	三菱原子力工業㈱	相沢 広	〃
早船 浩樹	動力炉・核燃料開発事業団	堀上 邦彦	(財)原子力データセンター
浅見 哲夫	(財)原子力データセンター	根本 智志	〃
室伏 昭	〃	三谷 鉄二郎	日揮㈱
中山 光雄	大興電子通信㈱	吉田 真悟	(財)原子力データセンター
布施 隆司	動力炉・核燃料開発事業団	泉 文男	〃
鷲頭 優	FHL	小野沢 博文	富士通㈱
川井 久雄	(財)原子力データセンター	東条 進	三菱金属㈱
荒木 邦夫	中央開発㈱	中山 隆	城西大学
今井 和彦	(財)原子力安全技術センター	藤森 直孝	大興電子通信㈱
中井 仁彦	㈱情報数理研究所	斉藤 茂幸	三菱金属㈱
南 一生	FHL	山田 憲和	〃
富山 峯秀	(財)原子力データセンター	Thomas H. Pigford 米国カリフォルニア大学バークレイ校	

原子力コード研究委員会・炉物理研究委員会 合同研究会 所内出席者名簿（順不同）

氏 名	所 属	氏 名	所 属
金子 義彦	原子炉工学部	佐野川好母	動安部
中野 正文	炉物理施設管理室	竹田 辰興	理論解析研究室
石黒 幸雄	原子炉システム研究室	常松 俊秀	〃
鶴田 晴通	研究炉技術課	中村 康弘	計算センター
土橋敬一郎	原子炉システム研究室	西田 雄彦	炉物理実験研究室
伊勢 武治	新型炉検討特別チーム	原田 裕夫	計算センター
大杉 俊隆	高速炉物理研究室	平山 俊雄	臨界プラズマ第1研究室
中村 知夫	核融合炉物理研究室	藤井 実	計算センター
柴田 恵一	核データセンター	藤木 和男	原子力安全データ調査解析室
前川 洋	核融合炉物理研究室		
中島 宏	遮蔽研究室	河原崎雄紀	核物理第2研究室
真木 紘一	核融合実験炉特別チーム	松鶴 秀夫	環境調査解析研究室
鈴木 友雄	遮蔽研究室	石川 裕彦	環境第1研究室
長谷川 明	〃	木村 英雄	環境調査解析研究室
桜井 淳	材料試験炉部計画課	菊池 康之	核データセンター
小手川 洋	遮蔽研究室	峰原 英介	加速器管理室
鳥海奎三郎	原子炉工学部	古谷 実	国際情報室
浅井 清	計算センター		
安達 公道	安全工学第2研究室	林 隆	環境第1研究室
阿部 仁	プラント安全解析研究室	小迫 和明	核融合炉物理研究室
新谷 文将	原子炉安全解析研究室	石川 正	国際情報室
石黒美佐子	計算センター	松下 昌之	核データセンター
奥野 浩	プラント安全解析研究室	横山 憲夫	材料応用工学研究室
小室 雄一	〃	田島 淳一	高速炉物理研究室

