

TM-1218

Overview of the Ten Years of the
FGCS Project

by
T. Kurozumi

September, 1992

© 1992, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03)3456-3191 ~ 5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

Overview of the Ten Years of the FGCS Project

Takashi Kurozumi

Institute for New Generation Computer Technology
4-28, Mita 1-chome, Minato-ku, Tokyo 108, Japan

Kurozumi @ icot.or.jp

Abstract

This paper introduces how the FGCS Project started, its overall activities and the results of the FGCS project. The FGCS Project was launched in 1982 after a three year preliminary study stage. The basic framework of the fifth generation computer is parallel processing and inference processing based on logic programming. Fifth generation computers were viewed as suitable for the knowledge information processing needs of the near future. ICOT was established to promote the FGCS Project. This paper shows not only, ICOT's efforts in promoting the FGCS project, but relationship between ICOT and related organizations as well. I, also, conjecture on the parallel inference machines of the near future.

1 Preliminary Study Stage for the FGCS Project

The circumstances prevailing during the preliminary stage of the FGCS Project, from 1979 to 1981, can be summarized as follows.

Japanese computer technologies had reached the level of the most up-to-date overseas computer technologies.

A change of the role of the Japanese national project for computer technologies was being discussed whereby there would be a move away from improvement of industrial competitiveness by catching up with the latest European computer technologies and toward world-wide scientific contribution through the risky development of leading computer technologies.

In this situation, the Japanese Ministry of International Trade and Industry (MITI) started study on a new project - the Fifth Generation Computer Project. This term expressed MITI's will to develop leading technologies that would progress beyond the fourth generation computers due to

appear in the near future and which would anticipate upcoming trends.

The Fifth Generation Computer Research Committee and its subcommittee (Figure 1-1) were established in 1979. It took until the end of 1981 to decide on target technologies and a framework for the project.

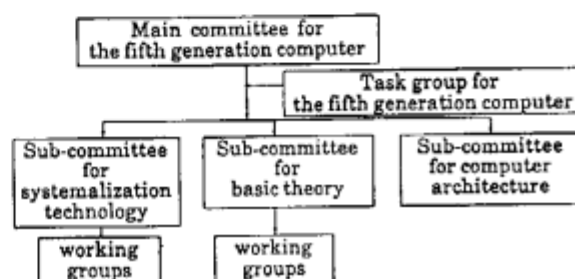


Figure 1-1 Organization of the Fifth Generation Computer Committee

Well over one hundred meetings were held with a similar number of committee members participating. The following important near-future computer technologies were discussed.

- Inference computer technologies for knowledge processing
- Computer technologies to process large-scale data bases and knowledge bases
- High performance workstation technologies
- Distributed functional computer technologies
- Super-computer technologies for scientific calculation

These computer technologies were investigated and discussed from the standpoints of international contribution by developing original Japanese technologies, the important technologies in future, social needs and conformance with Japanese governmental policy for the national project.

Through these studies and discussions, the committee decided on the objectives of the project by

the end of 1980, and continued future studies of technical matters, social impact, and project schemes.

The committee's proposals for the FGCS Project are summarized as follows.

- ① The concept of the Fifth Generation Computer: To have parallel (non-Von Neumann) processing and inference processing using knowledge bases as basic mechanisms. In order to have these mechanisms, the hardware and software interface is to be a logic program language (Figure 1-2).
- ② The objectives of the FGCS project: To develop these innovative computers, capable of knowledge information processing and to overcome the technical restrictions of conventional computers.

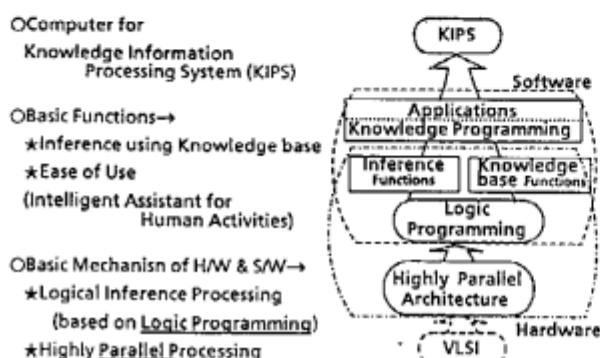


Figure 1-2 Concept of the Fifth Generation Computer

- ③ The goals of the FGCS project: To research and develop a set of hardware and software technologies for FGCS, and to develop an FGCS prototype system consisting of a thousand element processors with inference execution speeds of between 100M LIPS and 1G LIPS (Logical Inferences Per Second).

- ④ R&D period for the project: Estimated to be 10 years, divided into three stages.

- 3-year initial stage for R&D of basic technologies
- 4-year intermediate stage for R&D of sub-systems
- 3-year final stage for R&D of total prototype system

MITI decided to launch the Fifth Generation Computer System (FGCS) project as a national project for new information processing, and made efforts to acquire a budget for the project.

At the same time, the international conference on FGCS '81 was prepared and held in October 1981 to announce these results and to hold discussions on

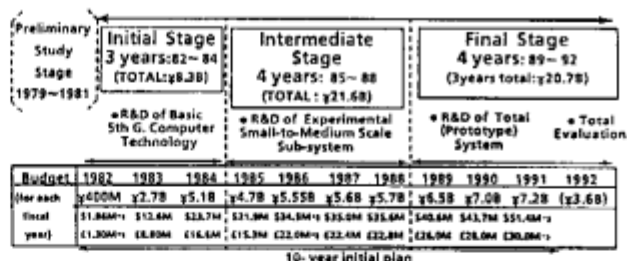
the topic with foreign researchers.

2 Overview of R&D Activities and Results of the FGCS Project

2.1 Stages and Budgeting in the FGCS Project

The FGCS project was designed to investigate a large number of unknown technologies that were yet to be developed. Since this involved a number of risky goals, the project was scheduled over a relatively long period of ten years. This ten-year period was divided into three stages.

- In the initial stage (fiscal 1982-1984), the purpose of R&D was to develop the basic computer technologies needed to achieve the goal.
- In the intermediate stage (fiscal 1985-1988), the purpose of R&D was to develop small to medium subsystems.
- In the final stage (fiscal 1989-1992), the purpose of R&D was to develop a total prototype system. The final stage was initially planned to be three years. After reexamination halfway through the final stage, this stage was extended to four years to allow evaluation and improvement of the total system in fiscal year 1992. Consequently, the total length of this project has been extended to 11 years.



- R&D are carried out under the auspices of MITI.
- (All budget (Total budgets: ¥54.6B) are covered by MITI.)
- *1 S1 = ¥215, E1 = ¥207 (1982-1983)
- *2 S1 = ¥140, E1 = ¥250 (1986-1990)
- *3 S1 = ¥140, E1 = ¥240 (1991-)

Figure 2-1 Budgets for the FGCS project

Each year the budget for the following years R&D activities was decided. MITI made great efforts in negotiating each year's budget with the Ministry of Finance. The budgets for each year, which are all covered by MITI, are shown in Figure 2-1. The total budget for the 3-year initial stage was about 8 billion yen. For the 4-year intermediate stage, it was about 22 billion yen. The total budget for 1989 to 1991 was around 21 billion yen. The budget for 1992 is estimated to be 3.6 billion yen.

Consequently, the total budget for the 11-year period of the project will be about 54 billion yen.

2.2 R&D subjects of each stage

At the beginning, it was considered that a detailed R&D plan could not be decided in detail for a period as long as ten years. The R&D goals and the means to reach these goals were not decided in detail. During the project, goals were sought and methods decided by referring back to the initial plan at the beginning of each stage.

The R&D subjects for each stage, shown in Figure 2-2, were decided by considering the framework and conditions mentioned below.

We defined 3 groups of 9 R&D subjects at the beginning of the initial stage by analyzing and rearranging the 5 groups of 10 R&D subjects proposed by the Fifth Generation Computer Committee.

At the end of the initial stage, the basic research themes of machine translation and speech, figure and image processing were excluded from this project. These were excluded because computer vendor efforts on these technologies were recognized as having become very active.

In the middle of the intermediate stage, the task of developing a large scale electronic dictionary was transferred to EDR (Electronic Dictionary Research Center), and development of CESP (Common ESP system on UNIX) was started by AIR (AI language Research Center).

The basic R&D framework for promoting this project is to have common utilization of developed software by unifying the software development environment (especially by unifying programming languages). By utilizing software development systems and tools, the results of R&D can be evaluated and improved. Of course, considering the nature of this project, there is another reason making it difficult or impossible to use commercial products as a software development environment.

In each stage, the languages and the software development environment are unified as follows.

- Initial stage: Prolog on DEC machine
- Intermediate stage: ESP on PSI and SIMPOS
- Final stage: KL1 on Multi-PSI (or PIM) and PIMOS (PSI machines are also used as pseudo multi-PSI systems.) (Figure 2-6)

2.3 Overview of R&D Results of Hardware System

Hardware system R&D was carried out by the subjects listed below in each stage.

- ① Initial stage

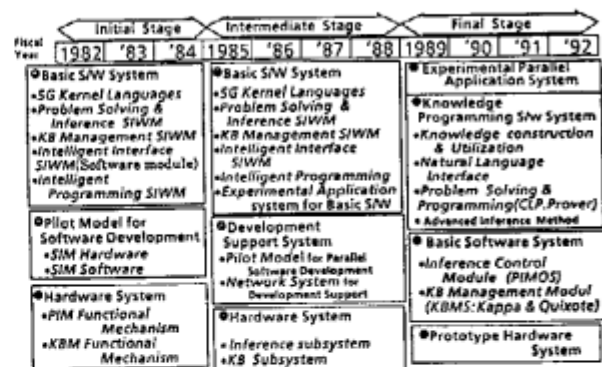


Figure 2-2 Transition of R&D subjects in each stage

- ① Initial Stage
 - Ⓐ Functional mechanism modules and simulators for PIM (Parallel Inference Machine) of the hardware system
 - Ⓑ Functional mechanism modules and simulators for KBM (Knowledge Base Machine) of the hardware system
 - Ⓒ SIM (Sequential Inference Machine) hardware of pilot model for software development

② Intermediate Stage

- Ⓐ Inference subsystem of the hardware system.
- Ⓑ Knowledge base subsystem of the hardware system
- Ⓒ Pilot model for parallel software development of the development support system.

③ Final Stage

- Ⓐ Prototype hardware system

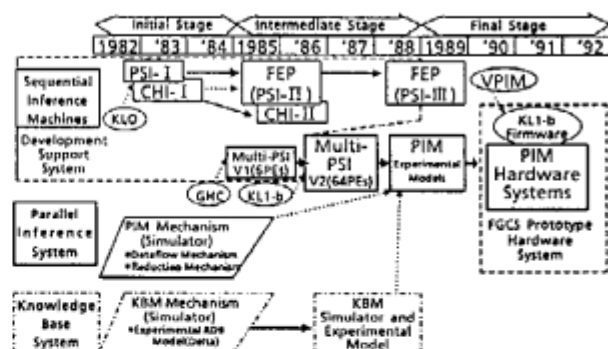


Figure 2-3 Transition of R&D results of Hardware System

The major R&D results on SIM were the PSI (Personal Sequential Inference Machine) and CHI (high performance back-end inference unit). In the initial stage, PSI-I (① ③) was developed as KLO (Kernel Language Version 0) machine. PSI-I had

around 35 KLIPS (Logical Inference Per Second) execution speed. Around 100 PSI- I machines were used as main WSs (workstations) for the sequential logic programming language, ESP, in the first half of the intermediate stage. CHI- I (① ③) showed around 200 KLIPS execution speed by using WAM instruction set and high-speed devices. In the intermediate stage, PSI was redesigned as multi-PSI FEP (Front End Processor) and PSI- II, and has performance of around 330-400 KLIPS. CHI was also redesigned as CHI- II (② ④), with more than 400 KLIPS performance. PSI- II machines were the main WSs for ESP after the middle of the intermediate stage, and were able to be used for KL1 by the last year of the intermediate stage. PSI- III was developed as a commercial product by a computer company by using PIM/m CPU technologies, with the permission of MITI, and by using UNIX.

R&D on PIM continued throughout the project, as follows.

- In the initial stage, experimental PIM hardware simulators and software simulators with 8 to 16 processors were trial-fabricated based on data flow and reduction mechanisms (③④).
- In the intermediate stage, we developed multi-PSI V1, which was to construct 6 PSI-Is, as the first version of the KL1 machine. The performance of this machine was only several KLIPS because of the KL1 emulator (② ④). It did, however, provide evaluation and experience by developing a very small parallel OS in KL1. This meant that we could develop multi-PSI V2 with 64 PSI- II CPUs connected by a mesh network (② ④). The performance of each CPU for KL1 was around 150 KLIPS, and the average performance of the full multi-PSI V2 was 5 MLIPS. This speed was enough to significantly improved to encourage efforts to develop various parallel KL1 software programs including an practical OS.
- After development of multi-PSI V2, we promote the design (② ④) and trial-fabrication of PIM experimental models (③④).
- At present, we are completing development of prototype hardware consisting of 3 large scale PIM modules and 2 small scale experimental PIM modules (③ ④). These PIM modules are designed to be equally suited to the KL1 machine for inference and knowledge base management, and to be able to be installed all programs written by KL1. This is in spite of their using different architecture.

The VPIM system is a KL1-b language processing system which gives a common base for PIM firmware for KL1-b developed on conventional computers.

R&D on KBM continued until the end of the intermediate stage. An experimental relational data base machine (Delta) with 4 relational algebraic engines was trial-fabricated in the initial stage (① ⑤). During the intermediate stage, a deductive data base simulator was developed to use PSIs with an accelerator for comparison and searching. An experimental system was also developed with multiple-multiple name spaces, by using CHI. Lastly, a knowledge base hardware simulator with unification engines and multi-port page memory was developed in this stage (② ⑤). We developed DB/KB management software, called Kappa, on concurrent basic software themes. At the beginning of the final stage, we thought that adaptability of PIM with Kappa for the various description forms for the knowledge base was more important than effectivity of KBM with special mechanism for the specific KB forms. In other words, we thought that deductive object-oriented DB technologies was not yet matured to design KBM as a part of the prototype system.

2.4 Overview of R&D Results of Software Systems

The R&D of software systems was carried out by a number of subjects listed below in each stage.

- ① Initial stage
 - Basic software
 - ① 5G Kernel Languages
 - ② Problem solving and inference software module
 - ③ Knowledge base management software module
 - ④ Intelligent interface software module
 - ⑤ Intelligent programming software module
 - ⑥ SIM software of pilot model for development support
- ② Basic software system in the intermediate stage
 - ①-⑥ (as in the initial stage)
 - ⑦ Experimental application system for basic software module
- ③ Final stage
 - Basic software system
 - ① Inference Control module
 - ② KB management module
 - Knowledge programming software
 - ③ Problem solving and programming module
 - ④ Natural language interface module
 - ⑤ Knowledge construction and utilization module
 - ⑥ Advanced problem solving inference method

④ Experimental parallel application system

To make the R&D results easy to understand, I will separate the results for languages, basic software, knowledge programming and application software.

2.4.1 R&D results of Fifth Generation Computer languages

As the first step in 5G language development, we designed sequential logic programming languages KLO and ESP (Extended Self-contained Prolog) and developed these language processors (① ③). KLO, designed for the PSI hardware system, is based on Prolog. ESP has extended modular programming functions to KLO and is designed to describe large scale software such as SIMPOS and application systems.

As a result of research on parallel logic programming language, Guarded Horn Clauses, or GHC, was proposed as the basic specification for KL1 (Kernel Language Version 1) (① ②). KL1 was, then, designed by adding various functions to KL1 such as a macro description (② ④). KL1 consists of a machine level language (KL1-b (base)), a core language (KL1-c) for writing parallel software and pragma (KL1-p) to describe the division of parallel processes. Parallel inference machines, multi-PSI and PIM, are based on KL1-b. Various parallel software, including PIMOS, is written in KL1-c and KL1-p.

A'um is an object oriented language. The results of developing the A'um experimental language processor reflect improvements in KL1 (② ③, ③ ③).

To research higher level languages, several languages were developed to aid description of specific research fields. CIL (Complex Indeterminate Language) is the extended language of Prolog that describes meanings and situations for natural language processing (① ④, ② ④). CRL (Complex Record Language) was developed as a knowledge representation language to be used internally for deductive databases on nested relational DB software (② ⑤). CAL (Contrainte Avec Logique) is a sequential constraint logic language for constraint programming (② ⑤).

Mandala was proposed as a knowledge representation language for parallel processing, but was not adopted because it lacks a parallel processing environment and we had enough experience with it in the initial stage (① ③).

Quixote is designed as a knowledge representation language and knowledge-base language for parallel processing based on the results of evaluation by CIL and CRL. Quixote is also a deductive object-oriented database language and play the key role in KBMS. A language processor is currently being developed for Quixote. GDCC (Guarded Definite Clause with Constraints)

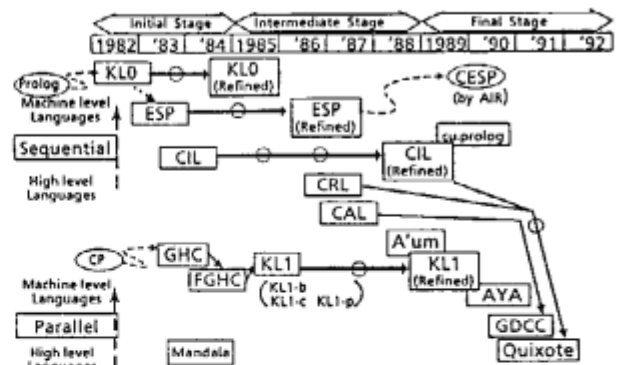


Figure 2-4 Transition of R&D of 5G Languages

is a parallel constraint logic language that processes CAL results.

2.4.2 R&D Results of Basic Software (OS)

In the initial stage, we developed a preliminary programming and operating system for PSI, called SIMPOS, using ESP (① ③ ④). We continued to improve SIMPOS by adding functions corresponding to evaluation results. We also took into account the opinions of inside users who had developed software for the PSI machine using SIMPOS (② ④ ⑦).

Since no precedent parallel OS which is suited for our aims had been developed anywhere in the world, we started to study parallel OS using our experiences of SIMPOS development in the initial stage. A small experimental PIMOS was developed on the multi-PSI V1 system in the first half of the intermediate stage (② ⑥). Then, the first version of PIMOS was developed on the multi-PSI V2 system, and was used by KL1 users (② ⑥). PIMOS continued to be improved by the addition of functions such as remote access, file access and debugging support (③ ④).

The Program Development Support System was also developed by the end of the intermediate stage (② ⑤).

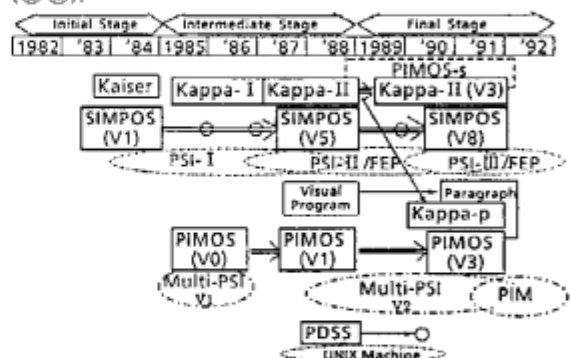


Figure 2-5 Transition of basic software R&D

Paragraph was developed as a parallel programming support system for improving concurrency and load distribution by the indication results of parallel processing (③④).

In regard to DB/KB management software, Kaiser was developed as a experimental relational DB management software in the initial stage (① ⑤). Then, Kappa-I and Kappa-II were developed to provide the construction functions required to build a large scale DB/KB that could be used for natural language processing, theorem proving and various expert systems (② ⑥). Kappa-I and Kappa-II, based on nested relational model, are aimed at the database engine of deductive object-oriented DBMS.

Recently, a parallel version of Kappa, Kappa-P, is being developed. Kappa-P can manage distributed data bases stored on distributed disks in PIM. (③ ⑥) Kappa-P and Quixote constitute the KBMS.

2.4.3 R&D Results of Problem Solving and Programming Technologies

Throughout this project, from the viewpoint of similarity mathematical theorem proving and program specification, we have been investigating proving technologies. The CAP (Computer Aided Proof) system was experimentally developed in the initial stage (② ⑥). TRS (Term Rewriting System) and Metis were also developed to support specific mathematical reasoning, that is, the inference associated equals sign (② ⑥).

An experimental program for program verification and composition, Argus, was developed by the end of the intermediate stage (① ⑥ and ② ⑥). These research themes concentrated on R&D into the MGTP theorem prover in the final stage (③ ⑥).

Meta-programming technologies, partial evaluation technologies and the learning mechanism were investigated as basic research on advanced problem solving and the inference method (① ⑥, ② ⑥, ③ ⑦).

2.4.4 R&D Results on Natural Language Processing Technologies

Natural language processing tools such as BUP (Bottom-Up Parser) and a miniature electronic dictionary were experimentally developed in the initial stage (① ④). These tools were extended, improved and arranged into LTB (Language Tool Box). LTB is a library of Japanese processing software modules such as LAX (Lexical Analyzer), SAX (Syntactic Analyzer), a text generator and language data bases (② ④, ③ ④).

An experimental discourse understanding system, DUALS, was implemented to investigate

context processing and semantic analysis using these language processing tools (① ④, ② ④). An experimental argument system, called Dulcinia, is being implemented in the final stage (③ ④).

2.4.5 R&D Results on Knowledge Utilization Technologies and Experimental Application Systems

In the intermediate stage we implemented experimental knowledge utilization tools such as APRICOT, based on hypothetical reasoning technology, and Qupras, based on qualitative reasoning technology (② ⑥). At present, we are investigating such inference mechanisms for expert systems as assumption based reasoning and case based reasoning, and implementing these as knowledge utilization tools to be applied to the experimental application system (③ ⑥).

As an application system, we developed, in Prolog, an experimental CAD system for logic circuit design support and wiring support in the initial stage. We also developed several experimental expert systems such as a CAD system for layout and logic circuit design, a troubleshooting system, a plant control system and a go-playing system written in ESP (② ④, etc.).

Small to medium parallel programs written in KL1 were also developed to test and evaluate parallel systems by the end of the intermediate stage. These were improved for application to PIM in the final stage. These programs are PAX (a parallel semantics analyzer), Pentomino solver, shortest path solver and Tsume-go.

We developed several experimental parallel systems, implemented using KL1 in the final stage, such as LSI-CAD system (for logical simulation, wire routing, block layout, logical circuit design), genetic information processing system, legal inference system based on case based reasoning, expert systems for troubleshooting, plant control and go-playing (3g).

Some of these experimental systems were developed from other earlier sequential systems in the intermediate stage while others are new application fields that started in the final stage.

2.5 Infrastructure of the FGCS Project

As explained in 2.2, the main language used for software implementation in the initial stage was Prolog. In the intermediate stage, ESP was mainly used, and in the final stage KL1 was the principle language.

Therefore, we used a Prolog processing system on a conventional computer and terminals in the initial stage. SIMPOS on PSI (I and II) was used as the workbench for sequential programming in

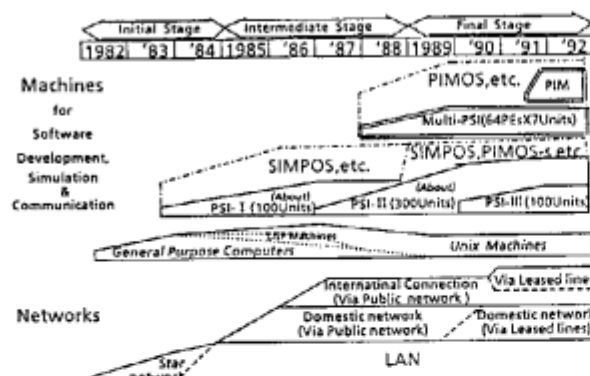


Figure 2-6 Infrastructure for R&D

the intermediate stage. We are using PSI (II and III) as a workbench and remote terminals to parallel machines (multi-PSIs and PIMs) for parallel programming in the final stage. We have also used conventional machines for simulation to design PIM and a communication (E-mail, etc.) system.

In regard to the computer network system, LAN has been used as the in-house system, and LAN has been connected to domestic and international networks via gateway systems.

3 Promoting Organization of the FGCS Project

ICOT was established in 1982 as a non-profit core organization for promoting this project and it began R&D work on fifth generation computers in June 1982, under the auspices of MITI.

Establishment of ICOT was decided by considering the following necessity and effectiveness of a centralized core research center for promoting originative R&D,

- R&D themes should be directed and selected by powerful leadership, in consideration of hardware and software integration, based on a unified framework of fifth generation computers, throughout the ten-year project period.
- It was necessary to develop and nurture researchers working together because of the lack of researchers in this research field.
- A core center was needed to exchange information and to collaborate with other organizations and outside researchers.

ICOT consists of a general affairs office and a research center (Figure 3-1).

The organization of the ICOT research center was changed flexibly depending on the progress being made. In the initial stage, the research center consisted of a research planning department and three research laboratories. The number of



Figure 3-1 ICOT Organization

laboratories was increased to five at the beginning of the intermediate stage. These laboratories became one research department and seven laboratories in 1990.

Fiscal Year	Initial Stage			Intermediate Stage			Final Stage		
	1982	'83	'84	1985	'86	'87	1988	1989	'90
Director									
Deputy Director									
Deputy Directors									
1st R.Lab.				1st R.Lab.				Research Dep.	
2nd R.Lab.				2nd R.Lab.				1st R.Lab.	
3rd R.Lab.				3rd R.Lab.				2nd R.Lab.	
				4th R.Lab.				3rd R.Lab.	
				5th R.Lab.				4th R.Lab.	
								5th R.Lab.	
								6th R.Lab.	
								7th R.Lab.	
* R.Lab.: Research Laboratory									
Research Planning Department / Section									
Number of Researchers	40	42	45	50	80	90	95	100	100
Number of Researchers' Parent Organizations	11	11	12	12	12	13	16	19	19
Number of Committee and Working Groups	7	7	8	13	15	9	13	13	15

Figure 3-2 Transition of ICOT research center organization

The number of researchers at the ICOT research center has increased yearly, from 40 in 1982 to 100 at the end of the intermediate stage.

All researchers at the ICOT research center have been transferred from national research centers, public organizations, and computer vendors, and the like. To encourage young creative researchers and promote originative R&D, the age of dispatched researchers is limited to 35 years old. Because all researchers are normally dispatched to the ICOT research center for three to four years, ICOT had to receive and nurture newly transferred researchers. We must make considerable effort to continue to consistently lead R&D in the fifth generation computer field despite researcher rotation. This rotation has meant that we were able to maintain a staff of researchers in their 30's, and also could easily change the structure of organization in the ICOT research center.

In total, 184 researchers have been transferred to

the ICOT research center with an average transfer period of 3 years and eight months (including around half of the dispatched researchers who are presently at ICOT).

The number of organizations which dispatched researchers to ICOT also increased, from 11 to 19. This increase in participating organizations was caused by an expanding scheme of the supporting companies, around 30 companies, to dispatch researchers to ICOT midway through the intermediate stage.

The themes each laboratory was responsible for changed occasionally depending on the progress being made.

Figure 3-3 shows the present assignment of research themes to each research laboratory.

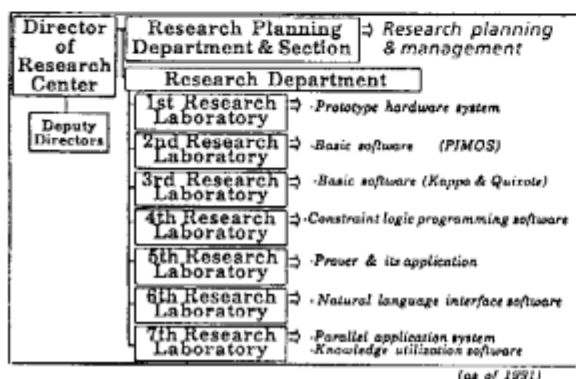


Figure 3-3 ICOT research center organization

Every year we invited several visiting researchers from abroad for several weeks at ICOT's expense to discuss and to exchange opinion on specific research themes with ICOT researchers. Up to the present, we have invited 74 researchers from 12 countries in this program.

We also received six long-term (about one year each) visiting researchers from foreign governmental organizations based on memorandums with the National Science Foundation (NSF) in the United States, the Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (INRIA) in France, and the Department of Trade and Industry (DTI) in the United Kingdom (Figures 3-2 and 3-4).

Figure 3-4 shows the overall structure for promoting this project. The entire cost for the R&D activities of this project is supported by MITI based on the entrust contract between MITI and ICOT. Yearly and at the beginning of each stage we negotiate our R&D plan with MITI. MITI receives advice of this R&D plan and evaluations of R&D results and ICOT research activities from the FGCS project advisory committee.

ICOT executes the core part of R&D and has contracts with eight computer companies for

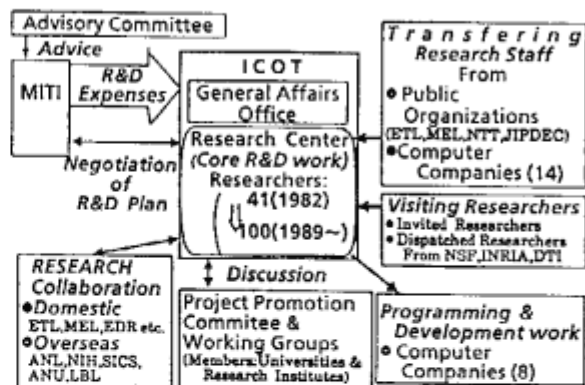


Figure 3-4 Structure for promoting FGCS project

experimental production of hardware and developmental software. Consequently, ICOT can handle all R&D activities, including the developmental work of computer companies towards the goals of this project.

ICOT has set up committee and working groups to discuss and to exchange opinions on overall plans results and specific research themes with researchers and research leaders from universities and other research institutes. Of course, construction and the themes of working groups are changed depending on research progress. The number of people in a working group is around 10 to 20 members, so the total number in the committee and working groups is about 150 to 250 each year.

Another program for information exchange and collaborative research activities and diffusion of research results will be described in the following chapter.

4 Distribution of R&D Results and International Exchange Activities

Because this project is a national project in which world-wide scientific contribution is very important, we have made every effort to include our R&D ideas, processes and project results when presenting ICOT activities. We, also, collaborate with outside researchers and other research organizations.

We believe these efforts have contributed to progress in parallel and knowledge processing computer technologies. I feel that the R&D efforts in these fields have increased because of the stimulative effect of this project. We hope that R&D efforts will continue to increase through distribution of this projects R&D results. I believe that many outside researchers have also made significant contributions to this project through

their discussions and information exchanges with ICOT researchers.

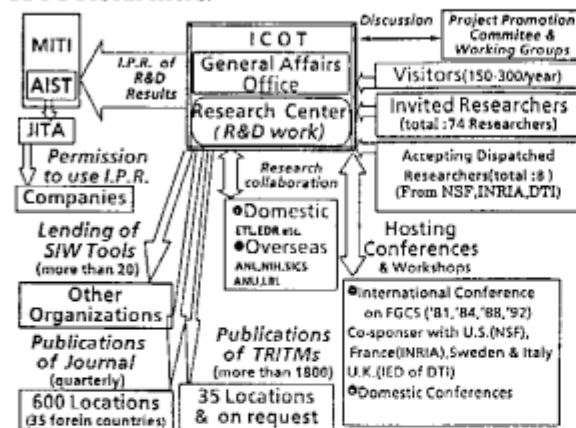


Figure 4-1 R&D result distribution and research collaboration

We could, for example, produce GHC, a core language of the parallel system, by discussion with researchers working on Parlog and Concurrent Prolog. We could, also, improve the performance of the PSI system by introducing the WAM instruction set proposed by Professor Warren.

We have several programs for distributing the R&D results of this project, to exchange information and to collaborate with researchers and organizations.

- ① One important way to present R&D activities and results is publication and distribution of ICOT journals and technical papers. We have published and distributed quarterly journals, which contain introductions of ICOT activities, and technical papers to more than 600 locations in 35 countries.

We have periodically published and sent more than 1800 technical papers to around 30 overseas locations. We have sent TRs (Technical Reports) and TMs (Technical Memos) on request to foreign addresses. These technical papers consist of more than 700 TRs and 1100 TMs published since the beginning of this project up to January 1992. A third of these technical papers are written in English.

- ② In the second program ICOT researchers discuss research matters and exchange information with outside researchers.

ICOT researchers have made more than 450 presentations at international conferences and workshops, and at around 1800 domestic conferences and workshops. They have visited many foreign research organizations to discuss specific research themes and to explain ICOT activities.

Every year, we have welcomed around 150 to 300 foreign researchers and specialists in other fields to exchange information with them and explain ICOT activities to them.

As already described in the previous chapter, we have so far invited 74 active researchers from specific technical fields related to FGCS technologies. We have also received six long-term visiting researchers dispatched from foreign governmental organization based on agreement. These visiting researchers conducted research at ICOT and published the results of that research.

- ③ We sponsored the following symposiums and workshops to disseminate and exchange information on the R&D results and on ICOT activities.

We hosted the International Conference on FGCS'84 in November 1984. Around 1,100 persons participated and the R&D results of the initial stage were presented. This followed the International Conference on FGCS'81, in which the FGCS project plan was presented. We also hosted the International Conference on FGCS'88 in November 1988. 1,600 persons participated in this symposium, and we presented the R&D results of the intermediate stage.

We have held

- 7 Japan-Sweden (or Japan-Sweden-Italy) workshops since 1983 (co-sponsored with institute or universities in Sweden and Italy),
- 4 Japan-France AI symposiums since 1986, (co-sponsored with INRIA of France),
- 4 Japan-U.S. AI symposiums since 1987 (co-sponsored with NSF of U.S.A.), and
- 2 Japan-U.K. workshops since 1989 (co-sponsored with DTI of U.K.).

Participating researchers have become to known each other well through presentations and discussions during these symposiums and workshops.

We have also hosted domestic symposiums on this project and logic programming conferences every year.

- ④ Because the entire R&D cost of this project has been provided by the government, such intellectual property rights (IPR) as patents, which are produced in this project, belong to the Japanese government. These IPR are managed by AIST (Agency of Industrial Science and Technology). Any company wishing to produce commercial products that use any of these IPR must get permission to use them from AIST. For example, PSI and SIMPOS have already been commercialized by companies licensed by AIST. The framework for managing IPR must

- ⑤ Software tools developed in this project that are not yet managed as IPR by AIST can be used by other organizations for non-commercial aims. These software tools are distributed by ICOT according to the research tools permission procedure. We, now, have more than 20 software tools, such as PIMOS, PDSS, Kappa-II, the A'um system, LTB, the CAP system, the cu-prolog system and the TRS generator. In other cases, we make the source codes of some programs public by printing them in technical papers.
- ⑥ On specific research themes in the logic programming field, we have collaborated with organizations such as Argonne National Laboratory (ANL), National Institute of Health (NIH), Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), Swedish Institute of Computer Science (SICS) and Australia National University (ANU).

LSI technologies have advanced in accordance with past trends. Roughly speaking, the memory capacity and the number of gates of a single chip quadruple every three years. The number of boards for the CPU of an inference machine was more than ten for PSI- I, but only three for PSI- II and single board for PIM.

Figure 5-1 shows the anticipated trend in board numbers for one PE (processor element: CPU and memory) and cost for one PE based on the actual value of inference machines developed by this project.

Figure 5-2 shows the performance trends of 5G machines based on the actual performance of inference machines developed by this project.

COST/1PE
(Relative Cost compared with PIM)

Number of Board/1PE
PE: CPU + Memory

130KILIPS/PE (Parallel)
300-400KILIPS/PE (Sequential)
400-500KILIPS/PE (Parallel)
1Bword General CPU
1Bword/General CPU
Cluster Board
Parallel (PIM)
Cluster Chip
18word/Several Outputs

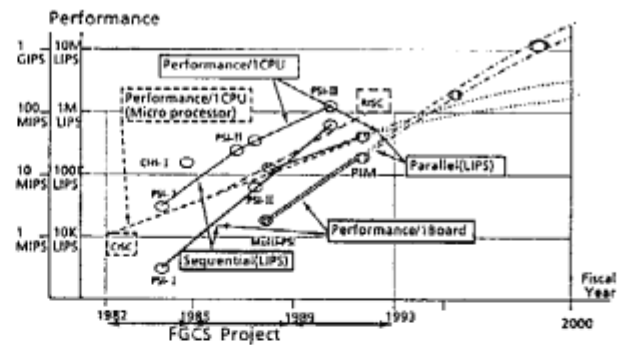
Sequential
PIM
PSI-II
PSI-I
Boards (1PE)
Boards (1PE)
1Board/CPU

1982 1985 1989 1993 2000

FGCS Project

VLSI Technology *256Kbits DRAM Memory *512bits DRAM Memory *4Mbits DRAM Memory *16Mbits DRAM Memory *64Mbits DRAM Memory *756Mbits DRAM Memory

of multi-PSI. Furthermore, Figure 5-2 shows the performance of one board for both sequential and parallel processing, and the performance of a conventional micro-processor with CISC and RISC technology. In this figure, future improvements in the performance of one PE are estimated to be rather lower than a linear extension of past values would indicate because of the uncertainty of whether future technology will be able to elicit such performance improvements. Performance for one board is estimated at about 20 MLIPS, which is 100 times faster than PIM. Thus, a parallel machine with a large cabinet size could have 1 GLIPS. These parallel systems will have the processing speeds needed for various knowledge processing applications in the near future.



Several parallel applications in this project, such as CAD, theorem provers, genetic information processing, natural language processing, and legal reasoning are described in Chapter 2. These applications are distributed in various fields and aim at cultivating new parallel processing application fields.

— 10 —

common for computers in the near future. Parallel application fields will expand gradually according to function expansion by the use of advanced parallel processing and knowledge processing technologies.

6 Final Remarks

I believe that we have shown the basic framework of the fifth generation computer based on logic programming to be more than mere hypothesis. By the end of the initial stage, we had shown the fifth generation computer to be viable and efficient through the development of PSI, SIMPOS and various experimental software systems written in ESP and Prolog.

I believe that by the end of the intermediate stage, we had shown the possibility of realizing the fifth generation computer through the development of a parallel logic programming software environment which consisted of multi-PSI and PIMOS.

And I hope you can see the possibility of an era of parallel processing arriving in the near future by looking at the prototype system and the R&D results of the FGCS Project.

Acknowledgment

This project has been carried out through the efforts of the researchers at ICOT, and with the support of MITI and many others outside of ICOT. We wish to extend our appreciation to them all for the direct and indirect assistance and co-operation they have provided.

References

- [Motooka, et al 1981] Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, 1981, JIPDEC
- [Kawanobe, et al 1984] K.Kawanobe, et al. ICOT Research and Development, Proceeding of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1984, 1984, ICOT
- [Kurozumi, et al 1987] T.Kurozumi, et al. Fifth Generation Computer Systems Project, 1987, ICOT TM303
- [Kurozumi, et al 1988] T.Kurozumi, et al. ICOT Research and development, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 1988, ICOT
- [Kurozumi, 1990] T.Kurozumi. Fifth Generation Computer Systems Project-Outline of Plan and Results, 1990, ICOT TM-996

F G C S プロジェクト 10 年間の概観

黒住 恭司

財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構

〒108 東京都港区三田1丁目4番28号

kurozumi @ icot. or. jp

概要

本資料は第五世代コンピュータプロジェクトの発足経緯とプロジェクト全期間における全体状況およびプロジェクトにおける研究開発成果の概要を紹介するものである。第五世代コンピュータプロジェクトは3年間の調査期間の後、1982年にICOTの設立と共に開始された。

第五世代コンピュータは、ロジックプログラミング技術に基づく高並列処理と推論処理が基本枠組となっており、近い将来における知識情報処理を指向したコンピュータシステムである。

本資料では、本プロジェクト遂行にかかわるICOTの活動と関連機関との関係の他、推定される並列推論マシンの展望についても述べている。

意気が込められていた。

新しいプロジェクトのための調査検討を行うため、図1-1に示す調査研究委員会が1979年に構成され、第五世代コンピュータの枠組とプロジェクトとしての目標を提案し、1981年まで継続した。

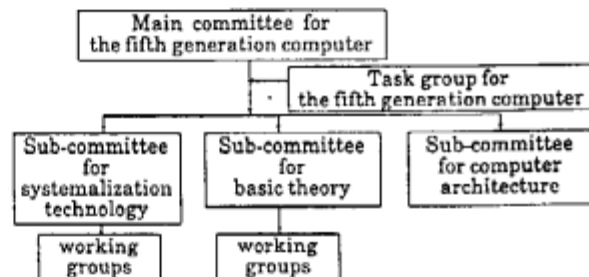


図1-1 第五世代コンピュータ調査研究委員会の構成

1 F G C Sプロジェクトの発足

までの経緯

第五世代コンピュータプロジェクトの調査段階における時代的背景を要約すると次のとおりである。

- 日本のコンピュータ技術が欧米先進国に追いついた頃。
- コンピュータ技術に関する日本のナショナルプロジェクトの役割が「欧米の最新技術に対するキャッチアップによる競争力向上」から「世界に先駆けてのリスクの多い先端技術開発の実施による世界のコンピュータ科学への貢献」へと転換することが論議された。

この様な状況下で、通商産業省は新しいプロジェクトとして、第五世代コンピュータに関する調査を1979年に開始し、1981年まで継続した。第五世代コンピュータのネーミングには当時登場が予想されていたフューチャシステムとしての第4世代機より更に先行した先端技術開発に向けた通商産業省の

委員会のメンバーは、大学・国公立研究機関・コンピュータメーカーの研究者で3年間全体で百数十人が延べ百数十回の打合わせに参加し、そこでは近未来の重要なコンピュータ技術としての以下に示す候補が議論された。

- 知識処理指向の推論コンピュータ技術
- 大規模データベース・知識ベース向きのコンピュータ技術
- 高性能ワークステーション技術
- 機能分散型コンピュータ技術
- 大規模科学計算向きのスーパーコンピュータ技術。

これ等のコンピュータ技術は日本のオリジナルな技術開発による国際貢献、将来技術としての重要性、社会的ニーズとの結び付き、日本のナショナルプロジェクトとしての枠組と役割の観点等で調査検討が行われた。

その結果、委員会は1980年末には第五世代コンピュータ像を決定し、更に技術的観点、社会的インパクト、プロジェクトの

枠組への検討を継続した。委員会のプロジェクトに対する提案は次のとおり要約できる。

- ①第五世代コンピュータの枠組：並列(non-Von Neumann型)処理と知識ベースを用いた推論処理を基本メカニズムとする。このためのハードウェアとソフトウェアのインタフェースは論理型言語とする。(図1-2参照)
- ②第五世代コンピュータプロジェクトの目的：知識情報処理を指向し、現存の方式でのコンピュータの技術的限界に対処しうる革新的コンピュータの技術体系を確立する。

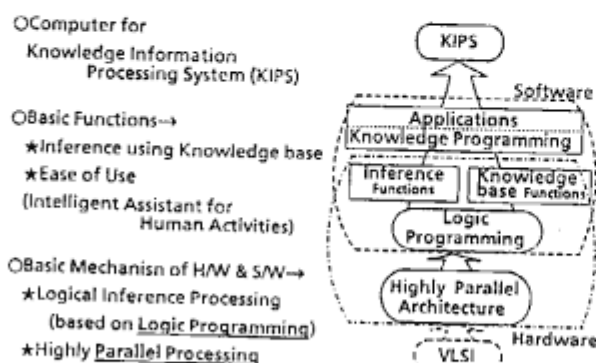


図1-2 第五世代コンピュータの枠組

③プロジェクトの研究開発目標：第五世代コンピュータのハードウェアおよびソフトウェアの技術を1セットとして研究開発する。そのための第五世代コンピュータプロトタイプシステムとして1000台規模の要素プロセッサから成る100 MLIPS (1秒間の推論実行回数)から1 GLIPSの性能を目指す。

④プロジェクトの研究開発期間：前期(要素技術開発)、中期(サブシステム開発)、後期(トータル(プロトタイプ)システム開発)の3段階に区分された10年間と見積る。

通産省はこの提案に基づき第五世代コンピュータプロジェクトをナショナルプロジェクトとして開始すべく、各方面との折衝を行った。一方、国際会議を1981年10月に開催し、この調査結果を発表し海外の専門家を含む議論を行った。

2 FGCSプロジェクトの研究開発成果概要

2.1 FGCSプロジェクトの研究開発ステップ・予算

本プロジェクトはリスクで先端的な技術開発を行う必要性から、次の3段階に分割された長期間の計画である。

- 前期(昭和57年度から59年度)：第五世代コンピュータとして必要な要素技術の研究開発。
 - 中期(昭和60年度から63年度)：小規模の各サブシステムの研究開発。
 - 後期(平成元年度から4年度)：トータルシステムとしてのプロトタイプシステムの研究開発。当初計画に対し、平成4年度に統合化・評価・改良を行うこととなった。
- 計画を実施するための予算は全額国の予算であり、各年度毎の予算は、前年度に予算要求に基づき審議され定められて来た。前期約80億円、中期約220億円であり、後期約240億円(総額540億円)の予定である。

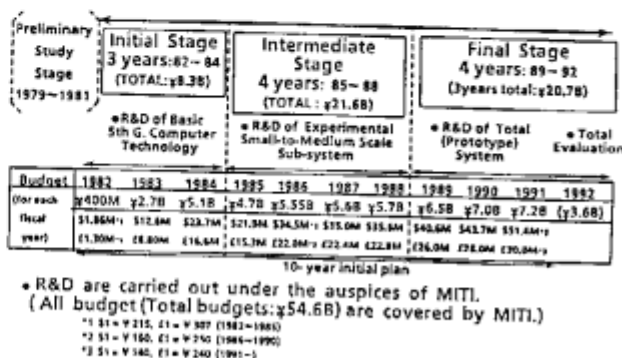


図2-1 FGCSプロジェクト予算推移

2.2 各ステップにおける研究開発課題

プロジェクトが目標探索型の性格をもち、かつ長期間に渡るものであることから、具体的な研究開発計画と技術的目標は当初からは定められていなかった。そのため各段階の始めに、各段階での研究開発課題と目標を定めつつ、プロジェクトが遂行されてきた。

前・中・後期の各段階における研究開発課題は、以下に述べる状況を考慮しつつ、図2-2に示すように定められた。

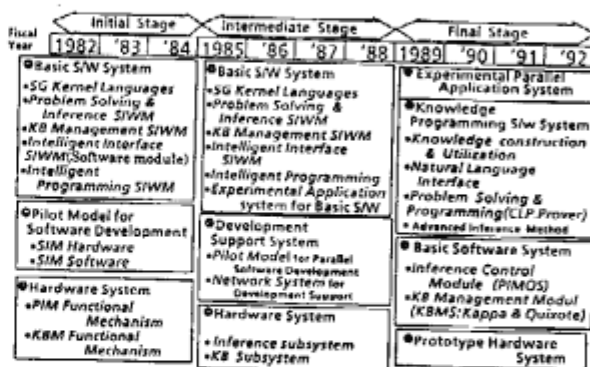


図2-2 前・中・後期における研究開発課題

第五世代コンピュータ調査研究委員会の提案した5グループ10課題を基として、前期開始に当り3グループ9課題に前期目標が定められた。前期終了時点までに機械翻訳、および音声・図形・画像認識の基礎研究について、民間での開発機運が高まったことから、プロジェクトの対象から外し、メーカーの自主研究に委ねることとした。

中期の途中段階では、大規模電子化辞書の開発について、基盤技術促進センターが出資する日本電子化辞書研究所(EDR)が、逐次論理型言語のESP(Extended Self-Contained Prolog)の汎用(UNIX)マシンに対する移植についても同様の形態組織のAI言語研究所(AIR)が進めることとなった。

更に、本プロジェクト遂行上の特徴として、ソフトウェア開発環境、特にプログラム言語を統一したことである。これにより開発ツールや研究開発成果の共用やプロジェクト内部での利用評価や改良に資することが可能となっている。ソフトウェア開発環境自体をプロジェクト内で開発したのは、市販製品に適したものがないということもこのプロジェクトの目標の性格から言えることである。

各段階において、次のとうりの言語とソフトウェア開発環境に統一して来た。

- 前期: DECマシン上のProlog
- 中期: PSI・SIMPOS上のESP
- 後期: マルチPSI(又はPIM)・PIMOS上のKL1
(なお、PSIも擬似マルチPSIとして利用されている)

2.3 ハードウェアシステムの研究開発成果概要

ハードウェアシステムのうち逐次型推論マシンの研究開発成果はPSI(Personal Sequential Inference Machine)とCHI(Co-operative(back-end type) high performance Inference Machine)である。PSIはKLO(Kernel Language Version 0)マシンとして開発され、前期のPSI-Iは約35KLIPS(1秒間の推論実行速度で、Logical Inference Per Second)は中期前半までのESPのための主要な開発環境用ワークステーション(WS)として約100台が利用された。

CHI-IはWAM命令セットと高速デバイスの採用により、約200KLIPSの性能を達成した。

中期においてPSIはマルチPSI用のFEP(Front End Processor)およびPSI-IIとして再設計され、約330から400KLIPSの性能を達成し、CHIは同様にCHI-IIとして再設計された。PSI-IIは、中期中盤以降のESP用のWSとして約300台が利用され、更にKL1に対しても擬似マルチPSIとして利用された。

PSI-IIIは更にPIM/mのCPUの利用(通商産業省からの利用許諾による)とUNIXとの結合をメーカーが行ったもので、

後期におけるPSI-IIの後継機となった。

並列推論マシン(PIM)の研究開発は、次のとおりである。

- 前期においては、8~16台規模の実験用ハードウェアシミュレータやソフトウェアシミュレータをデータフロー方式やリダクション方式に基づいて試作した。
- 中期においては、6台のPSI-Iを接続し、KL1エミュレータによる最初のKL1マシンとしてマルチPSIV1を開発した。
この性能は数KLIPS程度であるが、マルチPSIV1の開発によりKL1の実装や小規模のPIMOSの開発経験を得ることができた。次いで64台のPSI-II用CPUをメッシュ型ネットワークで接続したマルチPSIV2を開発した。KL1実行速度はCPU当たり約150KLIPS、64PE(要素プロセッサ)システムでは、約5MLIPS、種々のKL1プログラムを開発する上でほぼ十分な性能であった。
- マルチPSIV2の開発経験に基づき、PIMの設計と実験版の試作を行い、現時点では大規模モジュール3種類と小規模実験モジュール2種類からなるプロトタイプハードウェアの組立・調整を行っている。これらの各モジュールはハードウェアの要素技術に対する実験を行うため、プロセッサの構成や接続の方式は異なっているが、すべてKL1を実装する様設計され、PIMOSを含むKL1プログラムが実行可能である。
VPIMシステムはクラスタ構成の各PIMモジュールのKL1-b言語開発のベースとなる共通処理系であり、汎用機上で開発されている。

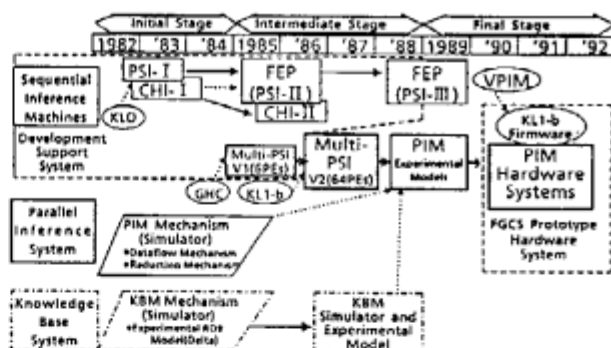


図2-3 ハードウェアシステムの研究成果の推移

知識ベースマシン(KBM)の研究開発は中期まで行われた。前期においては、4台の関係代数演算エンジンを持つ関係データベース実験機(Delta)を試作した。中期においては、比較・サーチ等のためのアクセレータをPSIに付加した演算データベースシミュレータ、CHI-IIをベースとした多重-多重名前空間を持つデータベース実験システム、および単一化エンジンとマルチポートページメモリからなる知識ベースハードウェアシミュレータを試作した。後期においては、ファイルシステムを持

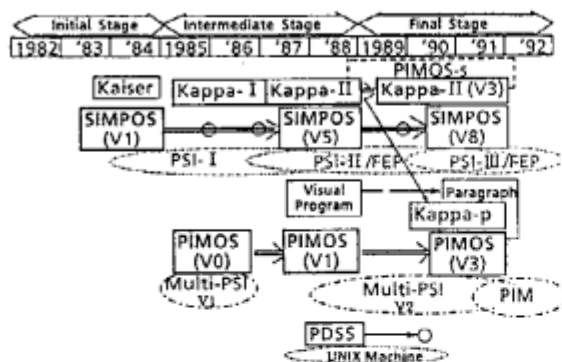


図2-5 基本ソフトウェアの研究開発成果の推移

DB/KB管理ソフトウェアとしては、前期にまず関係データベース管理ソフトウェア（Kaiser）を試作した。

次いで中期において、自然言語処理、定理証明や種々のエキスパートシステムに適用される大規模DB/KBの構築に必要な機能を持つKappa-IおよびKappa-IIを開発した。Kappa-IおよびKappa-IIは非正規関係モデルに基づく演繹オブジェクト指向DB管理システムのデータベースエンジンを目指したものである。

後期において、PIM上の分散ディスクに格納され分散DBの管理機能を持つKappaの並列版（Kappa-P）を開発しており、このKappa-PとQuixoteがKBMSを構成している。

2. 4. 3 問題解決プログラミング技術の研究開発

定理証明とプログラム仕様についての処理の類似性の観点から、前期以来証明技術研究を継続して来ており、まず前期において証明支援システム（CAP）実験版を試作し、中期において改良・拡張を行うと共に等号に対する数式変換を行う項書き換えシステム（TRSおよびMetis）を開発した。

プログラム検証合成実験システム（Argus）についても前・中期にかけて試作・改良等が行われた。

これ等の研究成果は後期において定理証明の研究に集約され、MGTP（Model Generator Theorem Prover）が開発され、推論エンジンとして法的推論システムに適用されている。

その他、メタプログラミングや部分計算技法、学習メカニズム等の高次推論・学習に関する基礎研究が行われた。

2. 4. 4 自然言語処理技術の研究開発

自然言語処理のためのソフトウェアツールとして、前期においてBUP（Bottom up Parser）や小規模電子化辞書の実験版を試作し、中期において汎用日本語処理ツール（LTB：Language

Tool Box）としてまとめ、更にツールの追加や改良等を行った。LTBには形態素解析のLAX（Lexical Analyzer）、構文解析のSAX（Syntactic Analyzer）、文生成（Text Generator）、言語データベース等が含まれており、ESP記述で開発されたが、後期において汎用UNIX WSでも走行可能な様にCESP版が開発された。

談話理解実験システムDUALSについてこれらのツールの機能検証と自然言語理解の研究のための実験版として、前期に第1版を試作し、中期においては第3版まで改良した。

後期においては、これらの研究成果を踏まえて並列自然言語処理実験システムとして立論システム（Dulcinea）の試作を進めている。

2. 4. 5 知識利用技術と並列応用実験システムの研究開発

知識利用実験ツールとしては、中期において、仮説推論技術に基づくツール（APRICOT）や定性推論技術に基づくツール（Qupras）を試作した。

後期においては仮説ベース推論や事例ベース推論メカニズムに基づく応用実験システムの試作を通じて研究を行っている。応用実験システムとしては前期におけるProlog記述による論理回路設計支援と配線支援のCAD実験システムの試作に始まり、中期においては、応用分野を拡大し、配置と論理設計CAD、故障診断、プラント制御、囲碁対局システム等のESP記述による試作を行った。

中期後半においてマルチPSI、PIMOSの開発により並列応用ソフトウェアの研究開発が可能となり、まずKL1記述による並列プログラムの開発実験と並列システムの評価のために、小・中規模のプログラムを試作し、後期にも並列アルゴリズム等の改良が行われた。並列構文解析プログラム（PAX）、ペントミノプログラム、最短経路プログラム、詰め碁プログラムがそのプログラムである。後期においては、以上述べた中期までの開発成果を踏まえ、応用分野を更に増し、KL1記述による、並列応用実験システムとして、LSI-CADシステム（論理シミュレーション、配線、セル配置、論理回路設計）、遺伝子情報処理、事例ベース推論に基づく法的推論システム、および故障診断・プラント制御・囲碁対局のエキスパートシステムを開発している。

2. 5 研究開発環境

2. 2節で述べた様に研究開発環境のベースとなる言語は、前期はProlog、中期はESP、後期はKL1として統一されて来た。

そのため前期においては、汎用機上のPrologと端末を利用した。中期においては、逐次論理型言語としてのESPのため

の開発環境としてSIMPOSとPSI（IおよびII）を利用した。後期においては並列推論マシン（マルチPSIおよびPIM）及びその端末兼ワークベンチとしてPSI（IIおよびIII）を利用している。

この他、PIM設計のためのシミュレーションや通信のために汎

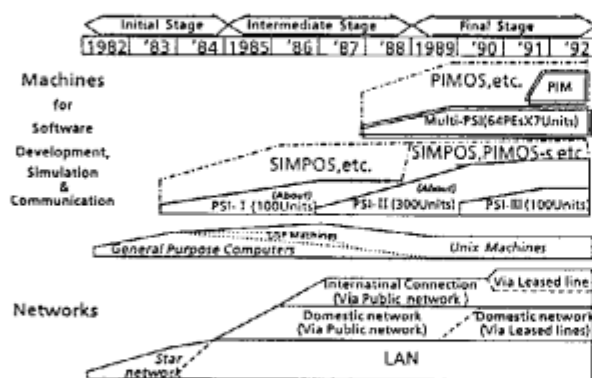


図2-6 研究開発環境の推移

コンピュータネットワークシステムとしては、構内接続にはLANを、国内・海外接続にはゲートウェイを通して接続を行っている。

3 FGCSプロジェクト推進体制

本プロジェクトを遂行するための中核非営利組織の財団として1982年4月にICOTが設立され、同年6月から研究開発を開始した。

ICOTの設立は創造的研究開発を一体として進めるために次を示すような中核組織の必要性和効率性を考慮して行われたものである。

- 研究開発を行うに当たり、強力なリーダーシップに基づくテーマの選択や指導が、10年という長期間に渡る研究を第五世代コンピュータという統一的枠組の内で行うために必要なこと。
- 本研究分野での研究者を集中研究所の中で迅速に育成することが必要なこと。
- 外部の組織や研究者と交流するための中核が必要なこと。



図3-1 ICOT組織

ICOTは事務局と研究所から成り、ICOT研究所内の組織は研究進展に合わせて変更されて来た。（図3-1参照）

ICOT研究所の全研究者は国立研究所、公的機関、企業からの出向者であり、研究者の育成を行いつつ創造的研究を行う必要性から、35才以下の若手中心に集められ、3～4年ローテーションが行われた。これにより組織の活力の維持や効果的な技術の普及が行えた。更に研究者のローテーションにより、研究活動の一貫性や研究能力の維持向上の面で多大な努力を要したが、一方若手研究者の集団（平均30才程度）としての維持や組織変更時の融通性をもたらした。

現在までに、延べ184人の研究者が出向しており、平均3年8ヶ月の在職期間（約半数の現職を含む）となっている。研究者数は年々増加しており、当初の40人から中期末の約100人になって現在に至っている。出向元組織数は当初の11から19までに増加して来た。これは中期において、約25社から成る一般賛助会社からの出向を受け入れたことによるものである。

Fiscal Year	1982	'83	'84	1985	'86	'87	'88	1989	'90	'91	'92
Director											
Deputy Director											
1st R.Lab.											
2nd R.Lab.											
3rd R.Lab.											
4th R.Lab.											
5th R.Lab.											
6th R.Lab.											
7th R.Lab.											
Research Planning Department / Section											
Number of Researchers	40	42	45	50	80	90	95	100	100	100	
Number of Researchers Parent Organizations	11	11	12	12	12	13	16	19	19	17	
Number of Committee and Working Groups	7	7	8	13	15	9	13	13	15	17	

図3-2 ICOT研究所組織の推移

ICOT研究所組織は、前期には研究計画部と3研究室であったが、中期には5研究室に増加した。更に平成2年には、1研究部7研究室体制へと変更した他、研究室のテーマ分担も研究の進捗に合わせて変更して来た。現時点での研究室の分担と研究所組

組織を図3-3に示す。

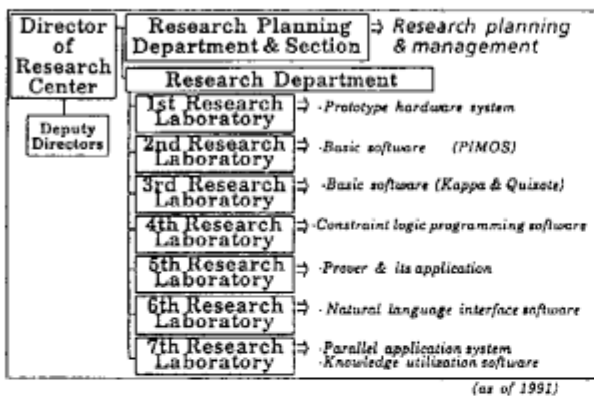


図3-3 ICOT研究所組織と担務

研究交流の一貫として、毎年数名の海外研究者を数週間招聘し、特定の研究テーマでICOT研究者と意見交換を行って来ており、現在までに、延べ74名を12ヶ国から招聘した。

又、8名の長期(約1年間)の研究者の派遣受け入れを外国政府機関との覚書きに基づき行っている。この覚書きは米国NSF(National Science Foundation)、仏国INRIA(Institut National de Recherche en Informatique et Automatique)、英国DTI(Department of Trade and Industry)と締結している。

全体のプロジェクト推進体制を図3-4に示す。

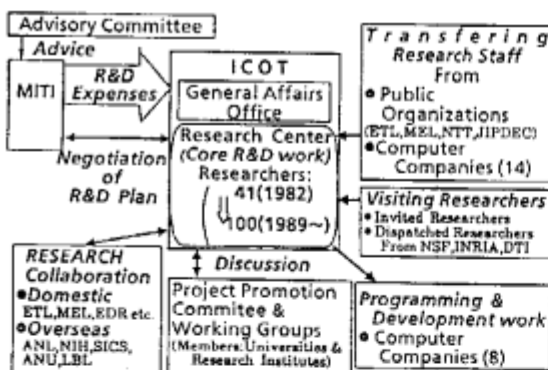


図3-4 FGCSプロジェクト推進体制

研究開発に関わる全費用は通商産業省からICOTへの委託契約に基づき国が負担している。各段階と毎年の研究計画は通商産業省の承認を受けるが、このために、通商産業省は本プロジェクトの諮問のための委員会を設置し、プロジェクトの計画と成果評価についてのアドバイスを受けて来た。

ICOTは中核的研究開発を行うと共に、ハードウェアの製造やソフトウェアの開発等についてはコンピューターメーカーに再委託契約を行うことにより、全体のプロジェクトを遂行して来た。

この他、ICOTは委員会やワーキンググループ(WG)を設

置し、大学や研究機関の研究指導者・研究者からの全体計画と成果や特定の研究テーマ毎についての意見交換を行って来た。

このWGも研究進捗に合わせて変更して来ているが、1WG当たり10~20人程度の委員からなり、全体としては毎年150~250人程度の委員により構成されて来た。

他に研究交流や研究成果の普及の枠組があるが、次章で詳しく述べる。

4 研究成果の普及と研究交流活動

本プロジェクトはナショナルプロジェクトとして、世界のコンピュータ科学分野への貢献が重要と考えており、ICOT活動に関して研究開発の成果のみならず、研究のアイデアや過程についても論文や資料を通じて公表・説明を行うこと、および外部の研究者や機関との研究交流を行うことの努力を続けて来ている。この努力は並列処理や知識情報処理技術の進歩への貢献のみならず、この分野での研究コミュニティの拡大にも役立って来ており、今後本プロジェクトの成果の普及を通じて、更に拡大して行くものと期待している。

又、多数の外部研究者から、ICOT研究者との意見交換等を通じて、本プロジェクトは多大な貢献を受けて来ている。例えば、並列論理型言語の母体であるGHCはParlogやCPの研究者との交流の結果生まれており、ハードウェアシステム(PSI等)の性能改善にはウォーレン教授の提案したWAM命令セットの導入効果が大きく寄与している。

このような研究交流や研究開発成果の普及のための全体的枠組みを図4-1に示す。

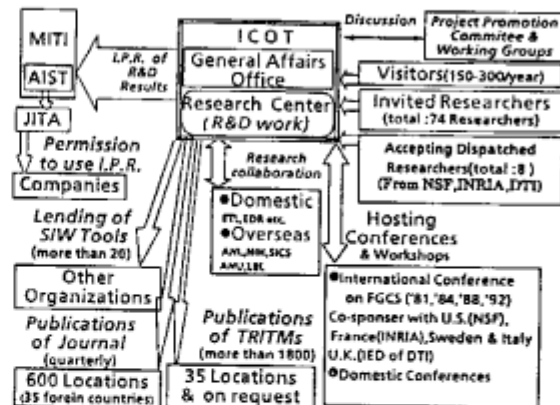


図4-1 研究交流と研究開発成果の普及の枠組み

① 研究活動と成果の公表のために、ICOTジャーナルと研究資料の出版・配布を行っている。ICOTジャーナルは季刊でICOT活動と研究資料の紹介を掲載しており、海外35ヶ国約600ヶ所に配布されている。

研究資料には、研究論文（TR）と研究メモ（TM）があり、現在までに約700のTRと約1100のTMを発行しており、これ等の約1/3は英語版である。このTR/TMは海外約30ヶ所に定期送付すると共に要望に応じて個別に送付している。

② ICOT研究者が外部研究者と意見交換や研究討論を行う次の様な機会がある。

- 国内外での学会・ワークショップ等で論文発表や意見交換を行っており、現在までに約450回の国際会議等での発表、約1800回の国内学会等での発表を行って来た。又、多くの海外研究機関を訪問し、ICOT活動の紹介や研究交流も行ってきた。

- 毎年、150～300人程度の研究者や専門家等のICOT訪問を受け入れ、ICOT活動の紹介や意見交換等を行っている。

- 前章で述べた様に、研究者の招聘や海外政府機関からの派遣研究者の受け入れを行って来た。派遣研究者の受け入れは中期に入って開始され、その研究成果は論文として発表されている。

③ ICOTは種々のシンポジウムやワークショップ（WS）を開催し、研究成果や活動状況の発表や意見交換を行って来た。

- 2章で述べたFGCS国際会議'81に引き続き、前期の成果をFGCS国際会議'84（昭和59年11月開催）で発表した。その後、中期の成果をFGCS国際会議'88（昭和63年11月開催）で発表した。

- 国別シンポジウム・WGを次のとおり開催してきた。

- 1983年以降、日瑞（又は日瑞伊）WSを7回開催（スウェーデンコンピュータ科学研究所（SICS）、伊ビサ大学と共催）

- 1986年以降、日仏AIシンポジウムを4回開催（仏国INRIAと共催）

- 1987年以降、日米AIシンポジウムを4回開催（米国NSFと共催）

- 1989年以降、日英WSを2回開催（英国DTIと共催）

④ 本プロジェクトの研究開発費用は全額国の負担であることから、特許等の知的所有権（IPR）は日本政府に帰属する。このIPRは工業技術院（AIST）が管理し、利用を希望する企業に対し、有償で差別なく許諾される。この利用に関する無差別な許諾は本プロジェクトの成果としてのIPRが政府所有になることにより可能となっており、普及の1つの枠組となっている。なお、既にPSIやSIMPOSについては、企業

が利用許諾を受け商用化している。

⑤ AISTにより管理される段階にない本プロジェクトで研究開発中のソフトウェアは、研究開発ツールとして営利目的以外の利用目的に対して、利用を希望する企業・大学等にICOTから貸与されて来た。

現在PIMOS、PDSS、Kappa-II、LTB、A⁺umシステム、CAPシステム、cu-prologシステム、TRSジェネレータ等20以上のツールを運用中である。

この他、学術的情報として広く利用可能とするため研究資料（TR/TM）にソースプログラムまで掲載しているものもある。

⑥ 論理プログラミング分野での研究交流の一環として、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）、米国国立衛生研究所（NIH）、米国ローレンスバークレイ研究所（LBL）、スウェーデンのSICS、オーストラリア国立大学（ANU）との共同研究活動を行っている。

5 第五世代マシンの将来展望

LSI技術は過去において3年で約4倍のゲート数となる進歩を着実にとげて来た。本プロジェクトは、このLSIの進歩の利用により、マシンの性能を高並列処理により大巾に向上させ得ることが可能かつ必要との認識に基づいている。

推論マシンの場合、通常のCPUより多くの回路を必要とすることから、最初のPSI-IのCPUは10枚以上のボードが必要であったが、マルチPSIV2（PSI-II）では4枚に、PIMでは1枚に減少して来た。他にメモリ80MBに対して、PSI-Iは16枚（256Kbitチップの利用）、マルチPSIV2は4枚、PIM（PIM/m）は1枚である。

要素プロセッサ（PE：CPUとメモリ）当りのボード数およびPE当りのコストの過去の傾向と今後の予測値を図5-1に示す。

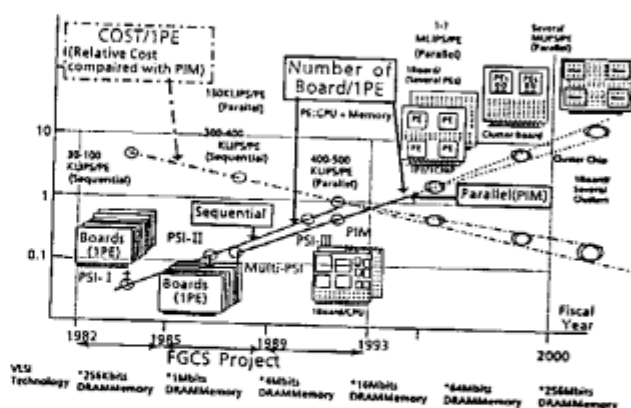


図5-1 5GマシンのPEサイズとコスト傾向

図5-1においては、2000年までには10程度のPEが1ボードに搭載され、デスクサイド筐体に100PE程度、大型筐体で1000PE程度が実装され得ると予測できる。又コストについても3年で約半減していくことになると予測している。

5Gマシンの性能予測を本プロジェクトの現在までの実績値をベースとして図5-2に示す。逐次型推論処理性能は現在までに3年で約4倍になっている。並列型推論処理性能向上は逐次型の場合ほど大きくなく、マルチPSIからPIMで2.5倍程度である。図5-2においては、現在までのCISCおよびRISCのマイクロプロセッサの性能向上や推論マシンの推論処理性能のボード当りの性能向上傾向も示してある。ボード当りでは2000年頃にはPIMの100倍程度の20MLIPSを、大型筐体の推論マシンは1GLIPSを、達成可能と予測している。

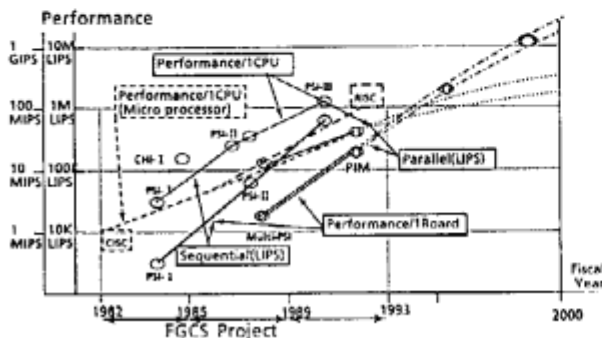


図5-2 5Gマシンの性能傾向

本プロジェクトにおいて、CAD、定理証明、遺伝子情報処理、自然言語処理、法的推論等のいくつかの応用分野についてのプログラムを開発しているが、これは近い将来における並列処理の適用分野の開拓の目的も含まれているものである。

並列処理の技術は近い将来においてコンピュータ処理へ汎用的に適用され、産業・社会の種々の分野へ拡大されて行き、今後の並列処理技術と知識処理技術の進歩に伴って、徐々に並列処理応用プログラムの実用化が進むものと考えられる。

6 おわりに

逐次ベースであるが、前期の成果であるPSI、SIMPOSやいくつかの応用実験を通して、論理プログラミング技術が第五世代コンピュータの基本枠組として実現し得ることを示した。

次いで中期末には、並列論理プログラミング環境としてマルチPSIやPIMOSの開発を通して、論理プログラミングに基づく並列処理の実現可能性を示した。

本プロジェクトの最終成果として、第五世代コンピュータ・プロトタイプシステムを示すことにより、近い将来に汎用的並列処

理の時代が到来し得ることを示し得るものと考えている。

謝 辞

本プロジェクトは、通商産業省、実際の研究開発を行って来た研究員、本プロジェクトを支援して頂いている多くの方々の努力と協力により進められた。

本報告の終りに当り、本プロジェクトを直接・間接的に支えて来た多くの方々に感謝する。

参 考 文 献

- [Motooka, et al 1981] Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, 1981, JIPDEC
- [Kawanobe, et al 1984] K. Kawanobe, et al, ICOT Research and Development, Proceeding of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1984, 1984, ICOT
- [Kurozumi, et al 1987] T. Kurozumi, et al, Fifth Generation Computer Systems Project, 1987, ICOT TM303
- [Kurozumi, et al 1988] T. Kurozumi, et al, ICOT Research and Development, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 1988, ICOT
- [Kurozumi, 1990] T. Kurozumi, Fifth Generation Computer Systems Project-Outline of Plan and Results, 1990, ICOT TM-996