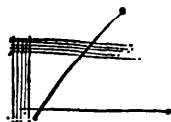


展 望

情報処理に関する学問体系†



田 中 幸 吉††

まえがき

情報処理学会は、御承知のように山下英男先生を中心とする先輩諸先生方の御尽力により、情報処理国際連合(IFIP)の発足(1960年1月)に呼応して昭和35年4月に設立された。当時は正に国産電子計算機の勃興期であり、情報処理に関する学会を作るに適した機運にあったようである。

ところで学会の名称のことであるが、情報処理学会設立準備のとき「電子計算機学会」にしようかとか、「電算機学会」にしようかという話も出たようである¹⁾。

当時、「情報処理」という言葉は一般には耳新しい言葉であり、むしろ「情報」という言葉は戦時中の「海軍情報部」などを想起して「諜報」的な暗いイメージがあったようである。今日の「情報それ自体の氾濫と情報なる修飾語の乱用」状態と比べ正に隔世の感が深い。

さて今日広く使われるようになった「情報処理」という言葉は、電子計算機(実は電子計算機以前すでにPCSで情報処理が行われていた。その後リレー式計算機もあったので、電子という言葉に拘わる必要はない)の急速な発達に関連しており、計算機と同義語に近い意味で使われることが多い。したがって「情報処理に関する学問」は「計算機科学(Computer Science)」とか「情報科学(Information Science)」とか「情報工学」とか「情報学」などと呼ばれる学問分野と同義であるか、または極めて密接に関連する学問と一応解釈することができよう。ここで「一応」と言ったのは、実は上記の学問分野、特に情報科学・工学とか情報学の意味する内容が人によって違っていることが間々あるからである。

事実、情報科学あるいは情報工学、さては情報学と

は何ぞや、その包括する範疇は如何、という質問に対する回答は、種々の観点、立場と思想に依存し拡大解釈されがちである。それは情報なるものが開いた主体的、かつ抽象的本性を宿しているからである。それを反映してか最近、情報なる修飾語がつけば何でも情報科学とか情報工学の範疇であるかのような錯覚に陥り、研究面においても教育面においても少なからざる混乱を来しつつあるやに思われる節があるからである。

このような状況に鑑み、上に述べた混乱を除き、情報工学・技術の力強い進展を支える基盤を確立することを目標とし、純学問的・具体的・実践的立場から、情報工学の学問体系のあり方を考えようという試みが、複数大学の情報工学関係者の協力により文部省科学研究費総合研究(A)の補助を受けて昭和52,53年度の2年間に亘って行われた。

本稿は上記の総合研究の成果を基にして、同研究の世話人であった筆者が代表として、本誌編集委員会の御依頼に応じて、本学会20周年記念特集号論文の一つとして取纏めたものであり、ここに協力研究者各位の御名前を記し深く感謝の意を表します。

総合研究(A)「情報工学の学問体系のあり方に関する研究」：野口正一、木村正行、伊藤貴康(以上東北大)、猪瀬博、元岡達、斎藤忠夫(以上東大)、榎本肇、志村正道、片山卓也(以上東工大)、有山正孝(電通大)、大泉充郎(千葉工大)、福村晃夫(名大)、稲垣康善(三重大)、坂井利之、堂下修司(以上京大)、鳥居宏次(電総研)、田中幸吉(阪大)。

1. 情報処理に関する学問体系のあり方

情報処理に関する学問体系を論ずるに当り、まずまえがきに現われた「情報科学」、「情報工学」、「情報学」なる言葉の意味を少しふりかえてみる。「情報科学」という言葉の包括する範囲は如何、という質問に対し一義的な回答の返ってこないことは前述の通りである。それは情報科学が従来の科学と比べ、理論の多様な性格、抽象的性格の反面、相互依存的性格、大局

† A Tentative Plan for Systematization of Disciplines Concerning Information Processing by Kokichi TANAKA (Dept. of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering Science, Osaka University).

†† 大阪大学基礎工学部情報工学科

的・集性格をもつ開いた主体的かつ実践的の科学だからであろう。このような性格をもつ情報科学を体系化するに当って考慮すべき問題点は ① 情報に関する学問・技術は元来多様化の宿命を内蔵している, ② しかしながら多様化のみで総合化が行われなければ学問体系は成立しない, ③ 総合化は(多様化に対する)画一化を意味しない, 画一化は(多様化の場合同様)学問の成熟を阻むであろう。

一口に情報科学/技術といっても、与えられた計算機システムを使っていろいろの科学的/技術的または社会的問題解決の道具として使用しようとする user science 的性格の強い面と、他方 (i) 計算機によるアルゴリズムの設計、分析、表現ならびに応用と、(ii) 情報の組織化と管理についての理解、を目標とする正に専門的な情報科学の面とがある。情報工学という言葉は我が国独自のものであり、英訳すれば Information & Computer Sciences* ともいうべきものであろう。すなわち上記の (i) と (ii) の両方を目標とし学問的態度(したがってハードウェアにも関心が強い)で追求する学問といえる。計算機科学は (i) にウエイトが置かれ、かつハードウェアにも関心の深い学問であり、情報学* は情報の収集、分析、組織化と管理などに重点が置かれている。

本稿の主題である情報処理に関する学問は (user science としてではなく専門的な意味での) 情報科学/技術を意味する情報工学 (Information & Computer Sciences) と解してよかろう。そこで筆者らが総合研究として考察した情報工学の学問体系が適用されるものと解してよかろう。

1.1 情報科学/工学に固有な概念について

情報に関する学問を体系化するに当り、まず始めに情報科学/工学の基盤となる“基礎的概念とか方法論が存在するのか”という問題について考えてみる(上記の質問に対し一義的かつ明快に答えることは大変困難である。否むしろそのような発想とか意識すらもっていないという答が返ってくる場合もある)。

physical, logical, virtual; computability, recursion, complexity; syntax, semantics といった他の科学/工学では経験しなかった概念とその実現方法がある。

* 筆者が情報工学科の英訳を決めるに当り米国の大学教授2名に尋ねたところ、上記のような英訳が内容に合致するとの意見であった(もっとも最近米国にも Information Engineering なる言葉が使われている場合もある)。また情報学の英訳は informatics であり、これは米国では極めて広く、コミュニケーション論とか新聞学まで含む場合があるようである。但しヨーロッパでは情報科学/計算機科学に対応するものとして Informatik/informatiques が使われている。

このような情報科学/工学に特有な概念・技法の基底に流れる思想・論理・技法を情報科学/工学の具体的研究対象の諸分野、特にプログラミング・システムとプログラミング方法論、アルゴリズム解析、オペレーティング・システムとコンピュータ・アーキテクチャ等を通して適確に把握する必要がある。

さらにまた abstraction, description, verification, refinement, scheduling, documentation といった概念と手法がソフトウェア工学に必要な不可欠である。また documentation というのは“物事を秩序立てて把握し、これを記述し、後日他人がみても筋道がよくわかるような書きものを作成すること”である。これも情報工学に特有のものである。

なお又ある体系において与えられた対象がどのような意味をもつか、あるいはどのような機能を実現しているかを見定める手法——modelling, analysis, synthesis, evaluation——も重要である。

以上列挙したような概念とか方法論は、情報科学/工学の学問体系の中に implicit に織り込まれているものであって、一つ一つを独立に explicit に論ずることのできないものである。

1.2 情報処理に関する学問体系試案作成に当って

学問体系のあり方を考える場合、方法論指向型の学問体系と目的的研究指向型の学問体系のあり方の両者が存在する。学問体系をチャート化して表わす場合、各研究小分野 (subject) をノードとし、それらの間の階層的関係または横型関連性などをアークで示した、いわゆるグラフ構造として体系図を描いた場合、方法論指向型と目的的研究指向型では方向性とかクラスタ形成の様相が違って来る。しかしながら大局的に眺めればほぼ一定のパターンが読みとられる。むしろ研究小分野の選び方の適正さが問題である。

2. 情報処理に関する学問の体系化試案

情報処理に関する学問の体系化を考える場合、情報工学と他の学問分野との関係、情報工学の特質および情報工学の各分野における研究・教育のあり方等に関する議論が必要となる。これらについては3および4章において述べる。本章では、これらの議論の上、情報工学に含まれる分野・課題についての全体像をとり纏めたものである。もちろん、このような問題はどの学問においても常に論ぜられる事であるが、情報工学の特殊性や情報工学がまだ明確な形で体系化されていない事などのために、我々にとってとりわけ重要な問

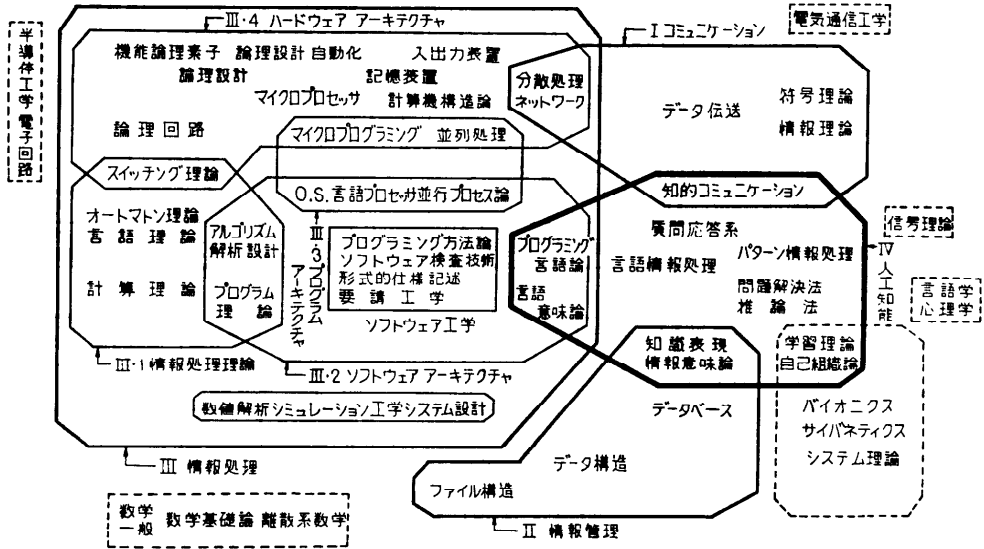


図-1 情報工学の分野関連図

題と考えられる。以下において情報工学の分野をいくつかの観点から全体像として纏めた図表を示し、それに関する補足的な説明を述べることにする。

2.1 試案その一 (方法論指向型体系化)

図-1は情報工学の学問体系に含まれる諸分野を、概念の意味ないしは機能的な近さの関係に従って整理したものである。いわば方法論的観点に立った体系化の試案である。図中の実線で囲まれた部分が情報工学の重要な分野であり、周辺に配置されている点線の分野は関連する分野である。なお近い分野同志が互に近い位置にあるよう配置することを考慮した。

本図の観点は、人間および情報システムにおける情報活動の基本機能を、

- I コミュニケーション
- II 情報管理
- III 情報処理

に分け、その立場から諸分野を分類したことである。類推的にいうならば、これらは計算機における古典的な機能分類、即ち入出力・記憶・演算とほぼ対応するものと考えられる。なお、これらの機能を実現するためには、それぞれを実行する機械——情報処理機械が必要であるが、これらは一括してⅢの中に含めてある。したがって図のⅢは「情報処理とその機械」を意味するものと考えて頂きたい。

I コミュニケーション

コミュニケーションという言葉は極めて広い多様な用いられ方をする術語であるが、それは次のように分

けて考えることができる。一般的に言えば、論理的(例えば処理プロセス間)、空間的(地域的に分散したシステム間)、ないしは時間的(過去の記憶との間)に分離されているシステムが相互に情報を共有するためのインタフェース形成に関する機能であると言えよう。コミュニケーションをどのレベルで捉えるかにより次のように分けることができる。

- (i) 情報の疎通: 意志・意図等情報の持つ意味内容の相互理解 (知的コミュニケーション)
- (ii) 情報の伝達: 記号の列として表わされたメッセージの伝達 (情報理論)
- (iii) 情報の伝送: メッセージを担う信号の伝送 (信号処理, 符号化法等)
- (iv) 通信システム: 信号として表現されたメッセージを送信し, 伝送し, 受信し, 交換するシステムの構成 (メッセージの形成, プロトコル, ネットワーク構成等)
- (v) 電気通信工学: 通信システムを電氣的に構成する方式 (通信方式, 交換方式, 伝送方式, 端末機器等)

(i)~(iii)は通信されるべき情報そのものに関する事で、(iv)、(v)はそのために必要な方式手段の実現に関する事項である。(v)は情報工学の直接の対象ではない。

II 情報管理

近年、扱うべきデータ量の急速な増大に伴い、データ科学の重要性が認識されつつある。膨大なデータの

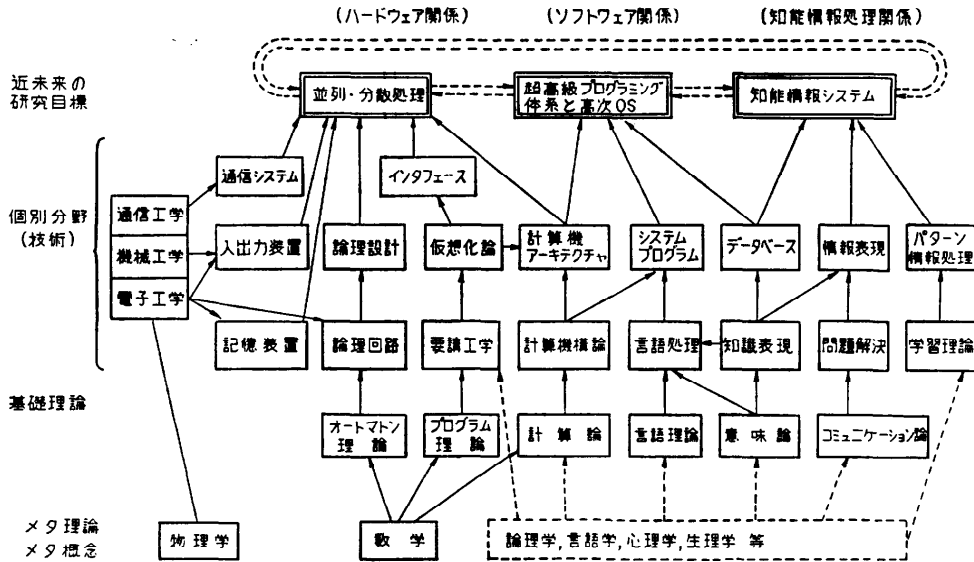


図-2 情報工学の研究目標と関連分野 (典型例)

構造的な蓄積法・検索法・圧縮法などデータベース管理システムの実現に関して多くの課題を含むが、より高度な管理のためにはデータの持つ意味論の確立、さらには複雑な構造をもつ知識一般の表現法など、人工知能の分野とも関係をもっている。

III 情報処理とその機械

慣例に従って一応ハードウェア・アーキテクチャとソフトウェア・アーキテクチャに大別してあるが、それらは元来一体化すべきものであり、ここではプログラム・アーキテクチャという観点で両者を統合している。ソフトウェア関係のうち、ソフトウェアの開発法・作成法等の人間の関与する部分や方法論はソフトウェア工学としてまとめ、明確な形で述べられ機械の上で処理される部分 (OS, マイクロプログラミング) 等はプログラム・アーキテクチャとして纏めてある。集積回路の高性能化に伴い、大規模な計算機システムの構成法や設計法が実現される反面、低価格化・小型化されたマイクロプロセッサの普及により、分散処理の形態がより重要な地位を占めるようになり、さらにマイクロプログラミングの一般化に伴い、目的指向形あるいは高級言語向きの機械も多く試みられている。このように汎用化と専用化は相補う形で発展するものと思われる。

IV 人工知能

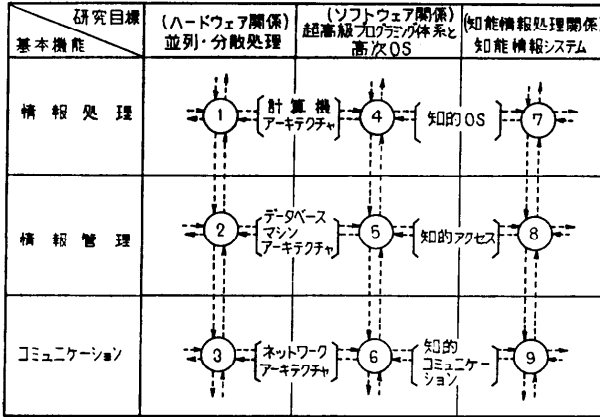
この分野は前述の I, II, III の基本的な機能分類とはやや異なり、それらの基礎の上に乗って、より高度

の情報処理の方法を確立し、基本機能を高めることを目指すものである。したがって図では I, II, III にまたがるように囲い、太線で示してある。人工知能の研究はソフトウェアおよび情報管理の分野、さらに処理対象である入力情報源の構造と密接に関連し、多くの未解決の問題を残している。このような演繹的なアプローチの他に、問題解決法・推論法・学習理論などに関連して帰納的なアプローチも重要である。

2.2 試案その二 (研究目標指向型体系化)

図-2 は情報工学の分野において、近い将来における重要な研究目標をハードウェア、ソフトウェア、知能情報システムの各方面に対して一つずつ選び出して設定し、その立場から、それに関連すると思われる情報工学の分野を列挙したもので、いくつかの可能性のうちの典型的な例である。これらの研究目標は、情報工学に対するニーズに応えることが出来、かつ多くの研究分野の成果の積み重ねを集約・統合し得ると同時にそれぞれの研究分野の研究に対して有効な動機を与えるものと思われる。図にはそれに関連すると思われる諸分野を、個別分野・基礎分野・メタ概念に層別して結んであるが、これらは厳密なものではなく大体の様子を示すものと考えて頂きたい。

設定した三つの目標——(i) 並列・分散処理, (ii) 超高級プログラミング体系と高次 OS, (iii) 知能情報システムは、それぞれ便宜上ハードウェア、ソフトウェアおよび知能情報システムに対応したものと



- ① 計算機構法論
ファームウェア
仮想化技術
機械論要素子
論理設計
マイクロプロセッサ
- ② 記憶方式・装置
光記憶装置
ファイル装置
ファイル制御方式
- ③ 計算機ネットワーク
デジタル通信網
光通信
端末装置
インタフェース
- ④ 計算機構論
プログラミング方法論
超高級言語プロセッサ
並行プロセス論
プロセス管理・制御
アルゴリズム設計解析
プログラム意味論
- ⑤ データ構造
データ意味論
ファイル構造
データベース管理システム
- ⑥ ネットワーク制御方式
プロトコル
インタフェース方式
- ⑦ 問題解決法
推論法
知識表現
言語理解
パターン認識
- ⑧ 知識ベース
意味ネットワーク
情報意味論
- ⑨ 質問応答系
マンマシンコミュニケーション
言語情報処理
日本語処理

図-3 研究目標と情報工学の基本機能

いるが、これらは独立したものではなく、相互に密接に関連している。したがって図では横向き点線で環状に結んである。並列・分散処理は処理機械のアーキテクチャを介してソフトウェアと密接に関係し、並行プロセスなどを介して人工知能とも関係をもっている。高次OSという概念は現時点では必ずしも明確に設定されておらず多少の議論の余地もあるが、超高級プログラミング体系は、仮想化機能、超高級言語処理機能、可変構造、並列処理機能、データやプログラムの意味に従って処理の流れを柔軟に制御する機能等を持ち高次OSの中心をなすものである。したがって(ii)の目標は(i)と(iii)と密接な関連をもっている。知能情報システムは個別的应用を指向したものでなく、高度の一般的処理機能(知能)をもつシステムの実現を目指すものである。

図-3は3大研究目標を設定した図-2を図-1の分野関連図における情報工学における3大基本機能——情報処理、情報管理、コミュニケーション——との関連において整理しなおしたものである。これらの研究課題は、それに関係する分野の組として、分野関連図のある領域に写像されるが、ここでは各研究目標を達成

するために必要ないくつかの個別的な手法や技術が、基本機能別に番号を介して図の下側にリストアップされている。またさきに述べたように三つの研究目標は相互に関連しているが、その関連性が図の升目と升目の間に記されている。

3. 分野別問題点の考察

学問体系の中に含まれるすべての分野にわたる考察は紙数の関係上不可能である(またその必要のない分野もある)ので、特に重要な分野をピックアップしてその問題点を論ずることとする。

3.1 ソフトウェア工学の問題点

ソフトウェア工学は、ソフトウェアの計画・設計・製作を行い、システムを操作し維持する過程において必要とする体系的知識および方法論と考えられるが、ソフトウェアは人間の思考の本質にかかわるものであって、大規模ソフトウェアの論理的深さは非常に深く、制御の時間的關係が多様である。また各モジュールの内容定義や相互の関連も最初は極めてあいまいであり、それが次第に明確になっていく性格をもっている。

ソフトウェアシステムは他の一般システムと同様に、計画・設計開発・維持改良・廃棄のライフサイクルをもち、それぞれの段階でライフサイクル全体を考慮することが必要である。

ソフトウェアシステムを計画するためには、ソフトウェアに何をやらせたいのかという分析から出発しなければならない。そこで最近、要求分析と設計についての体系化の研究が注目を集めている。

大規模システムではシステム全体に一貫性がなく不完全であったり、また正しくなかったり、相互に矛盾のある要求や仕様が最初に出され、これによってシステムが大きいトラブルにまき込まれ、悪質なエラーを発生する。それは、ソフトウェアシステムを多くの人が分担する共同作業であり、したがって与えられた要求を正しいと考え、また不完全な場合、適当に設計し易いように解釈してしまう傾向があるため、トラブルの発見自体がシステムを含んだ人間相互間のインタラクティブ・システムの問題となっており、より複雑なシステムの問題に転化してしまうからである。

さらに要求としてのシステムの目標は明確である

が、途中のプロセスが明らかでなく完全に考えられていない場合も多い。このとき仕様決定や設計の段階で新しい概念の導入が絶対必要で、これを基に具体的アルゴリズムが決定されるが、この段階でモジュールごとに微妙な差異が生じ重大なエラーにつながる。

以上のことから要求技術としては、システム内外における重要な基本的概念を抽出し、これらについて完全な定義を与え、それらの組合せとしてシステムを構成することであるが、システムの動作は並列的に把握する方が理解が容易であり、しかも効率的である。

したがって要求は並列に記述され、ために必然的にシステムの要求が非決定性記述となり、またダイナミックで非常に多くの場合を取扱うために要求の定義を完全に与えようとするば帰納的形式をとらなければならない。このような非決定性帰納的な要求の定義は、要求定義にあいまいな場合を残すような不完全なものである可能性を内蔵する。これに対するために要求分析法を用いるか、要求に対するスケジューリング・システムを応用したシミュレーションによって場合を洗い出すこととなる。前者の要求分析法は、要求技術に対するツールの1種であり、要求についての正当性を裏付ける役目を果たすものであるが、これを利用するためには技術レベルのプロトコルを必要とする。後者のスケジューリングによるシミュレーション法は、システムの保全を保つとともにシステムの効率を高める上に重要な役割をもっている。

仕様技術は、前記のような要求技術の裏付けの上に正確な言語や自動化されたツールとのプロトコルによる規定などの上に成立し、仕様の変更には要求の変更からボトムアップ的にサブシステムごとにすり合わせを可能とするようなドキュメントが十分に管理されていなければならない。

プログラムの方法論としては、要求技術とのインタフェースがとれるように非決定性定義を行うが、定義についてもデータ定義、アクション定義、スケジュール定義などに分割し、しかも階層的帰納的に表現し、見易かつ信頼性あるシステムを構成しようような方向に向けて研究する必要がある。この研究では、制御構造などを含めた抽象データ型の概念を導入することによりプログラムのパターン化を行い、データベースをプログラム開発に利用しようようなDBMSとソフトウェア開発用アルゴリズムの研究によって定型処理の機械化を始めとする要求仕様記述からの自動生成を行うことが極めて重要で、これはソフトウェア工学の

最も基本的な研究と考えられる。

3.2 ハードウェア技術の問題点

LSI技術がハードウェアの技術を介して情報工学全般に大きな影響を及ぼすことは明らかであり、計算機の構成方式、計算機の利用形態がどのように変わっていくか、あるいはどのように変えるべきかについて研究する必要がある。

今日LSI技術から受けている最大の影響は、まず第一に半導体記憶の高密度化の影響である。半導体記憶の高密度、高速、低価格といった特性が記憶の階層構成のあり方、主記憶容量についての考え方に大きな変革をもたらす可能性がある。第二に汎用計算機とよばれる大型計算機の分野にLSI技術を導入することは、当面二つの立場から実行されよう。一つはLSI化することによる低価格化、もう一つは超高速化である。

このような大型化・超高速化された計算機を設計し検査し診断まで行うことのできる一貫性のある設計自動化システムを確立することや、新しい周辺技術の開発に応じて設計自動化システムを改良し、常に最新の設計ができるように更新することは極めて重要な課題である。設計に関連してハードウェア・システム記述の問題がある。設計は、システム記述レベル間の変換として位置づけることができ、情報工学と電子工学など他の周辺工学とのインタフェースにおける記述言語をもってすることもできよう。新しい周辺技術を情報工学の中に取り入れるには、それが取扱えるよう記述言語を変更したり拡張したりする必要があり、それに伴って記述言語間の変換として捉えた設計方式の変更・改良が行われることになる。より細かなレベルで更に具体的に論ずると、例えばマイクロプログラム化の技術とかLSIによって生れてきたProgrammable Logic Array (PLA)の設計技術の確立の問題がある。ゲートレベルからPLAレベルの設計への飛躍はLSI技術の代表的なインパクトでもある。

情報工学の特徴はハードウェアとソフトウェアとの間の分担が自由に選べることにありと言っても過言ではない。そしてハードウェアとソフトウェア間の境界をどこに設定することがその時点における技術レベルから見て望ましいかを決定することが、情報工学に課せられた重要な課題の一つである。

また情報システムの巨大化、多様化に対応するための技術としては、システムを階層化したり、モジュール化して各人がそれぞれの立場からシステム全般を把握できるようにする技術が大切である。つまりシステ

ムを設計したり製作したり保守したり利用したりする各人にとって、自分に関心のある部分については十分詳細に認識でき、その他の部分はブラックボックスとして、そのインタフェースを介して理解するだけで十分システムを把握できることが望ましい。このような目的に合ったインタフェースを設定することが重要であり、また技術の進歩によってインタフェース自体が変化するので、その時点ごとに最適のインタフェースを指摘することが重要と考えられる。

仮想化の思想も仮想記憶に始まって、仮想ディスク、仮想マシン、仮想端末と発展し、それぞれの分野における論理インタフェースとして受け入れられ、物理インタフェースの多様化を吸収する技術として今後ますます普及するものと思われる。インタフェースに関する学問体系の確立が求められる所以である。

3.3 データベース管理システムに関して

DBMS の今後の方向としては使い易さ、性能およびデータ完全性の向上を挙げることができるが、そのために行うべき研究課題について以下順を追って述べる。データベースは実世界の組織や社会システムに関するデータの集合であるが、まず第1にデータ意味論はそれらのデータがその組織を正しく表現していることを保証するためのものである。データ意味論はデータモデルによって表現されることが普通であるが、これはデータやデータ間の相互関係を定義するデータ定義言語、データ操作言語から構成されている。現在までに多数のデータモデルが提案されているが、基本的なものとしては関係モデル、階層モデル、ネットワーク・モデルがある。これらのデータモデルはデータの構文的構成に関するものであり、現実世界におけるデータの意味を直接述べることのできるものは今のところ存在しないと見てよい。データベース使用者の大衆化とデータベース機能の高度化の要求に応えるためには、単にスキーマを提供するものでは不十分であり、考えている問題全体を直接表現できるようなデータモデルが今後必要である。このようなデータモデルにおいては、データの構文的・静的記述とデータ操作の記述の区分は存在せず、その両者ともデータモデルの表わす実世界について“表明”という形に融合されるべきである。現在のところこのような表明を表現するための言語体系として何が適当であるかは明らかではない。

しかしながらデータ意味記述のための言語は形式的であるばかりでなく、実世界の表現が簡潔に行えるも

のでなければならず、この面から実世界の formalization の研究が今後重要になるものと考えられる。これに関連して人工知能の分野で発展してきた種々の知識・意味表現法の研究はデータ意味論にとっても重要な研究課題である。

データベース設計の現状は試行錯誤に近いものであり、現在の ad-hoc 法は個々のシステムに対してはそれなりに意味のあるものであるが、非常に複雑なシステムの構成やシステムの変更・拡張に伴う追跡を行う場合には系統的な設計が是非必要になってくる。データベース設計には一般に次のようなステップに分解することができる。(i) 要求分析、(ii) view 構成、(iii) view 統合、(iv) view 再構成、(v) 物理データベース設計。要求分析では実際の使用環境におけるデータ処理の潜在的な要求度を決定する。ここで得られた情報は次のステップである view 構成に供給され、後の設計の基本となるものであり、正確な情報の抽出が要求されるが、現在のところこのための系統的な手法は確立されていない。データベースに貯えられたデータにアクセスするための言語は、それを扱うユーザのレベルによりデータ操作言語、問い合わせ言語およびパラメータ言語に大別される。データ操作言語はデータモデルの形式に依存するので、必ずしも一般的なことは言い難いがデータモデルの高度化に伴ってその言語形態もより高級なものとなると思われる。一方問い合わせ言語は自然言語風の言語が増加するものと思われる。

データベースの巨大化、特に分散データベースの出現は、ハードウェアコストの低減とも相俟ってデータベース構成におけるハードウェアの役割りを増大させつつある。最近ではデータベース・マシンの提案や試作が相次いで行われているが、その構成としてどのようなものが適当であるかは半導体技術の動向とも関連して一概に論ずることはできないが、DBMS の立場からはデータモデルの物理構造への写像が自然なものになることが望ましい。従来ややもするとハードウェア主導形と考えられるデータベース・マシンの設計にデータ意味論やデータベース設計論からの知見を積極的に導入し、データ意味論から物理構造まで一貫した思想でデータベースを設計することが重要である。

3.4 情報工学におけるコミュニケーション

現在のコンピュータネットワークにおいてプロセス・プロセス間の通信をさせる本格的な場合は双方向の通信が可能であるが、既存の RJE などのように一

方向的なものにも双方向的な制御信号の交換をする通信制御を効率よく実現することが望まれる。これは通信網を介する広域のものに限らず集積回路、コンピュータ内での分散処理にも言えることであり、論理的多重通信リンク式の通信制御の研究開発が重要となる。

また通信伝送における情報圧縮技術は、従来時間軸に関しては本質的には連続であるが、時間軸における離散的な分類のためにはセグメンテーションが必要となってくる。そのためには情報内容による知的判断が不可欠となる。つまり情報内容の変化がはげしいときが本当に情報を必要とするときであり、この類別を旨く行って情報圧縮の実を挙げるオンオフ・スイッチングがいわば情報フィルタである。情報フィルタは情報の伝送・蓄積・処理のすべてにわたって重要な役割を果たすものである。この情報フィルタは概括的な情報内容の判断を小型、安価な装置で実時間的に行えることが不可欠の要件となろう。

コミュニケーションは送受信者双方が共通の知識をもって始めて成立する。このことは相手が機械の場合においても同断である。マン・マシン・コミュニケーションもこのような立場から考察し、より効率的かつ知的コミュニケーションが可能となるようなシステムを研究開発することが重要である。これは究極のところ人工知能の研究に帰するものである。

3.5 知的情報処理の問題点

計算機が理解できるように記述されたプログラムを書くだけでは満足しない、人間が考えるままにプログラムを書きたいということが現在要求されている。さらに進んで人間が考えるように計算機に考えてもらいたいという発想から、計算機上での知的活動の具体化が望まれている。これは形式化 (formalization) への挑戦とも言えるものである。解決すべき問題に対する人間の思考と理解を、どこまで、どのように形式化できるか、またそこに得られた形式をいかにして計算機上に具現化するかということであり、実世界における問題とその問題解決法の形式化の研究が重要な課題となる。また人間の知的活動による意味の所産が知識であるが、知識の生成・表現・処理・利用に関する研究が知識表現問題として重要になってきた。知識表現問題はその根底にある情報意味論 (セマンティクス) に大きな関心がある。一口に情報意味論といっても、McCarthy-Scott の流れをくむ指示意味論 (denotational semantics), Floyd-Hoare の流れをくむ記述意味論、さらにセマンティクスとプラグマティクスの橋

渡し役となる操作意味論 (operational semantics) がある。操作意味論よりさらに実践的なデモンストレーションの立場に立つ意味論が知識表現問題における情報意味処理において重要になる。意味ネットワーク、生成システム、フレーム理論などはデモンストレーション意味論の道具立てともいえる。

3.6 分散処理技術の問題点

分散処理とよばれる技術は大別して二つの技術があり、更に二つが相互に影響し合っ次世代の情報処理システムの理想像が生まれようとしている。その一つは計算機技術と通信技術との結合を中心とした広域分散システムの技術であり、他の一つは LSI 技術のインパクトなどの影響を吸収して生まれようとしている機能分散、負荷分散を実現する分散形マシンの技術である。このような分散処理システムを実現するためには LSI などの材料、部品技術や通信技術の助けを必要としているが、更にファームウェア技術に代表される仮想化技術など計算機技術として独自に開発した技術も見逃がすことができない。又その背後にユーザからの使い易いシステムに対する要望、情報処理分野の多様化、更にはデータ処理などより広い範囲かつ高度な情報システムへの追求といったニーズをバックボーンとした技術である。

分散処理技術に関連する研究開発課題の典型的諸問題を類別すると次のようになる。

(i) 構成単位に関する基礎的研究: 半導体高集積回路技術の理論的考察; 保守・信頼性・柔軟性等の基本的技術の検討、特に信頼性向上のための LSI 設計援助システムならびに故障診断法、機能モジュールの階層的・分散的構成法等がある。

(ii) 分散処理システムのソフトウェア構成に関する研究: 分散処理システム開発者の意図すなわちシステムに対する要求の分析手法、記述言語、要求検証技法; 機能割当、通信・同期などの考慮されたソフトウェア設計、特にプログラム・モジュール分解の手法、設計用データベースの構築、設計援助システムの開発; ソフトウェアの正当性の検証、システム性能評価法等の研究がある。

(iii) 分散処理システムにおける情報伝達・制御・管理方式の研究: 複数の資源間で独立、並行した仕事、資源間のリンク形成、その動的制御を行う手順、管理、運用に関するプロトコルと制御体系の確立; 管理アルゴリズム、OS 群を管理する方法; 情報データの分散と統合等の問題がある。

(iv) 問題解決指向型分散処理システムの開発: 分散形記憶の論理的構成とシステム・アルゴリズムの開発, 特に並列アクセス, 連想アクセスを受容可能とするような方式とそのためのアルゴリズム構成法; マン・マシン対話技法の高度化, 特に分散処理システムの研究として重要なターゲットの一つとして知識ベースの構成法とその計算機上での構築法 (いわば知識ベース・マシン); さらに問題向き可変構造情報処理システムの構成法等の問題がある。

4. 情報処理に関する教育

わが国の大学でコンピュータに関する教育が始められたのは1950年代の半ば頃であろう。その頃は電子工学科・通信工学科とか数学科・物理学科とか, 又は管理・経営工学科ないしは経営・商学科等において細細とスタートした。1960年代の終りから1970年代の始めにかけて, いわゆる情報化時代を迎え, 情報処理技術者の不足という現象が要因となってその大量に組織的に養成することが緊急の課題となってきた。たとえば文部省は1969年5月以来「情報処理に関する会議」を設置し, 8回の全体会議のほか, いくつかの部会における審議を経て「情報処理教育の振興について」なる報告書を1971年5月に公表した。さらにまた日本学会会議は, 1965年8月に科学研究第1次5箇年計画の一環として「情報科学計画」を政府に提案した。これらに関する概要は既に本学会誌1971年11月の教育特集号²⁾とか本学会第19回全国大会における森口教授の特別講演³⁾に述べられている。

このような背景の下に1970年以降, 国立大学の理・工学部に情報工学科を中心とする情報関連学科が設置され, その数は昭和54年現在27学科に達し, これに伴って設置された大学院の情報工学専攻も20専攻となり, さらにこの分野が特に学際的であることを考慮していわゆる横型の大学院5専攻も設置された。私立大学に設置された同様の学科・専攻の数も9校となった。これらの学科のカリキュラムを展望すると, それぞれの成立の経緯によってかなり性格の相違が見られる。これはまた, この領域のinterdisciplinaryな性格の反映でもある。しかしながら, そのため情報科学/工学に関するイメージに混乱をきたす嫌なきにしもあらずと危惧される。

筆者の大学に情報工学科が設置(1970年)された際, 国内には見本となる国立大学はなく, カリキュラム編成に苦慮し結局, 米国(またはヨーロッパ)の大学の

それを参考にせざるを得なかった⁴⁾。また最近の国立大学における情報関係専門学科のカリキュラムの現状⁵⁾とか, 大学におけるソフトウェア教育の現状⁶⁾については有山教授が本学会誌に詳しく述べている。したがって重複をさけるため, それらについて触れないこととする。

本稿には情報処理に関する学問体系の試案(図-1, 2)が提示してある。そこに記した情報処理の基本機能のいずれに重点を置くかの選択によって, 教育科目(subject)に多少の相違が当然生じてしかるべきであるが, coreとなる少数の科目はほぼ共通になってくることが望ましい。特に1.1節に述べた「情報工学に固有な概念」が教育課程を通して体得されるようカリキュラムを編成することが, 情報処理に関する専門教育としては必須であろう。次にこの事に対する1つの例として米国のAssociation of Graduate Schools and Council of Graduate Record Examination Boardの下部組織であるCommittee of Examiners for the Advanced Computer Science Testが現在までに出版したテスト問題のカテゴリ別分類とそれに対する概念・手法等を表わすキーワードを示そう。

I. Programming Systems and Methodology-40%

- A. Programming Languages and their Processors
(Evaluation of expressions, block structure, parameter passing and binding, control structures, assemblers, interpreters)
- B. Programming Concepts
(Iteration, recursion, modularity, abstraction, refinement, verification, documentation)
- C. Properties of Algorithms
(Time and space requirements of programs, especially of common processes such as sorting and searching; correctness of programs)
- D. Data Structures
(Linear data structures, list structures, strings, stacks, queues, trees)
- E. Operating Systems
(Scheduling, resource and storage allocation, interrupts, synchronization, addressing techniques, file structures, editors, batch/time sharing, networks/communications)

II. Computer Systems-20%

- A. Logic Design

- (Switching algebra, combinatorial and sequential networks)
- B. Implementation of Computer Arithmetic
(Codes, number representation, add/subtract/multiply/divide)
- C. Processor Organization
(Instruction sets, registers, data and control flow, storage)
- D. System Architecture
(Configurations of and communication among processors, memories, and I/O devices)
- III. Theory of Computation-15%
- A. Automata Theory
(Sequential machines, transitions, regular expressions, Turing machines, nondeterministic finite automata)
- B. Analysis of Algorithms
(Complexity of specific algorithms, exact/asymptotic/lower bound analysis of time/space complexity, correctness)
- C. Formal Language
(Regular and context-free grammars/languages, simple properties such as emptiness or ambiguity)
- IV. Computational Mathematics-20%
- A. Discrete Structures
(Logic, sets, relations, functions, Boolean algebra, linear algebra, graph theory, combinatorics)
- B. Numerical Mathematics
(Arithmetic, number representation, numerical algorithms, error analysis, discrete probability, and elementary statistics)
- V. Special Topics-5%
- (Simulation and modeling, data management systems, information retrieval, artificial intelligence)

また、1978年米国 CSC の昼食会で Bell Labs. の Irving 博士が行ったスピーチ⁸⁾を引用して、情報処理技術者に求められる資質を列挙した。これはカリキュラム編成と教育目標への指針となるであろう。

Qualities looked for (in order of priority) in hiring:

1. Ability to speak and write clearly
2. Solid background in mathematics
3. Solid foundation in computer Science fundamentals
4. Problem solving ability
5. Thorough knowledge of the software development process
6. Ability to design the "people part" of a system
7. Managerial ability

あとがき

情報科学ないしは情報工学は元来、思考・判断・認知・学習など生物が行っている情報処理の機構を解明し、あるいはその機能を果たす装置を人工的に造り出す際の基礎を支えるものであって、自然科学のみならず人文・社会科学にもまたがる広範な学問分野の根拠をなすものである。このように関連する分野が極めて広大であり、かつこれらの分野の研究成果が有機的に統合されて初めて成果を挙げうるものである。

したがって情報科学ないし情報工学の範疇とか性格に対し、その枠組みとか定義づけをすることは極めて難しい。しかしながら本稿では包括的な漠然とした性格を多少整理し、情報科学を利用する立場にある諸科学 (user science) としてではなく、情報処理に関する専門的 discipline (for professionals) の確立を目標として学問の体系化を考察した。

情報科学と密接な関係にある基礎科学の一つに数学があるが、数学自体は無矛盾という条件のみを要求して仮定から形式的に結論を導く抽象的な理論であり、思惟可能性を唯一の制限として形式論理を構成する学問である。そしてその内容が抽象的であればある程、その適用範囲が広がるため、後の技術体系の発展に及ぼす影響は大である。又数学は一面において言語と同じ作用をもち、他面において道具の機能をもっている。記述用語としての数学、構造模型としての数学は、その抽象的な姿において役に立つ。しかしながら技術体系の中に取り入れられ思惟と実践とを連結する場における一般化された方法論の確立には不十分である。すなわち情報科学ないしは情報工学は、数学の形式的な扱いをバックグラウンドにして、具体的に対象とすべき情報への効果 (pragmatics) を考えながら記述された表現に関する処理 (semantics) が重要な課題となる。Öttinger 教授は「計算機科学は純粋数学よ

りも更に純粋な要素から、エンジニアリングの中で最もきかない要素まで含むものであり、それを恥とすべきでない」と喝破したが、これら多機的・多岐にわたる要素を如何に統合化するかが情報工学の学問体系のkeypointであろう。

本稿は元より少数の研究・教育者等による短期間の考究結果であり、種々の不備な点もあろうかと思われるし、また日進月歩のこの分野の学問体系を固定化して考えることにも不都合があろう。ともあれ現時点での一つの試みを敢えて提案して諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

拙筆に当り、総合研究に御参加、御協力頂いた諸先生方に改めて厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山下英男：学会創立10周年にあたって，情報処理，Vol. 11，No. 7，pp.375-380 (1970).
- 2) 情報処理(教育特集号)，Vol. 12，No. 11 (1971).
- 3) 森口繁一：情報処理教育雑感，情報処理 Vol. 19，No. 11，pp.1020-1025 (1978).
- 4) 田中幸吉：アメリカにおける情報科学・情報工学教育の動向，講座「情報社会科学」第1巻「情報科学の基礎Ⅱ，情報科学の展開」pp. 13-70，学研 (1972).
- 5) 有山正孝：国立大学における情報関係専門学科の現状について，情報処理，Vol. 14，No. 8，pp.600-607 (1973).
- 6) 有山正孝：大学におけるソフトウェア教育，情報処理，Vol. 20，No. 2，pp.87-102 (1979).
- 7) 田中幸吉，工藤英男：理工系情報学科における教育用電子計算機の現状と問題点，情報処理，Vol. 21，No. 3，pp. 246-254 (1980).
- 8) Pooch, U. W., Chattergy, R., Austing, R. H. and Mulder, M. C.: Computer Science and Computer Engineering Education in the 80's, The Oregon Report, IEEE Comp. Soc. Computer, Vol. 11, No. 9, p. 81 Table 3 (Sep. 1978).
(昭和55年1月7日受付)