



# RACE News

## ■「材料設計とその応用に関する研究」出張報告

人工物工学研究センター 岩田修一

材料設計は、設計要求に合わせて駆動される一つの求解のプロセスで解法は必ずしも自明ではない。パリ第7大学のDubois教授のグループではこのプロセスを、複雑な事象の表現と抽出されたデータと目的とする特性との相関の2つの視点から体系化し、材料設計システムの構築を進めている。対象としては、データベース中に収納された約300万件の有機材料データを選び、構造に関する特徴量を活用しての大規模高品質情報からの新たな知見の発見を試みている。こうした手法の検討の中で再確認したことは、データの品質と意味の管理が結果に極めて大きな影響を与えることと複雑な事象の取り扱いに対する系統的なアプローチの重要性である。また、材料に関する実用レベルの重要な課題の多くは、事前に対象の全情報が明らかになっていないことが多く、材料設計における求解のプロセスは、データの検索、分析、統合、新たな知見の追加と評価とが混在したダイナミックなプロセスとして理解しなければならないことを確認している。以上の議論を踏まえて、材料設計システムの仕様は、そうした環境の実現が重要となることに合意し、その仕様を受け入れ側のProf.E.Duboisとの共著論文としてまとめることとした。また、今後の研究協力についても議論を行ない、複雑な事象の問題解決のための解析、理解、意志決定、実証のサイクルに着目し、物資の有効利用、省資源を目的にしたリバースエンジニアリング、巨大な材料データベース、知識ベースが存在することを前提にした材料設計、人工物の設計における異専門分野間の情報の伝達などの観点から検討を行ない、データベース、知識システム、CADシステム、グラフィックス等の活用の可能性についての研究協力を継続することとした。

英国では、材料の全体像を把握するための理論的アプローチおよび経験的アプローチの現状についての意見交換と今後の研究協力についての議論を行なった。理論的アプローチについては、滞在中にオックスフォード大学材料学科のProf. Pettiforのグループの活動をよく知ることができた。Prof. Pettiforは主として金属間化合物の結晶構造データベースの探索の中で問題設定を行ない、その問題解決を様々な第一原理的手法（バンド計算、密度汎関数法、強結合近似）により行なうことを試みている。特に強結合近似についての収束性について、定式化と数値解との見事な一致が達成されたところで、系の寸法に関係した計算可能性の評価や近似の有効性に対する理論的根拠が確立されようとしているところであり、その熱気と活力により、再度COEとは何か、学問の伝統とは何かを考えさせられた。また、東京大学人工物工学研究センターで行なっている超伝導材料データベースの研究成果、今後の方向性についても種々の議論があった。擬ポテンシャルなどから導出された汎経験的データ整理については一部のデータについての理論の一致はあるものの、必ずしも背景にある物理の本質をとらえたものではない可能性があり、今後、データベースおよび理論の双方からの系統的な検討を協力して進めることにした。また、人工物工学研究センターの活動、本年10月に行なう国際シンポジウムの目的、今後の研究協力についても意見交換を行ない、これまで比較的交流の少なかったオックスフォード大学のグループとのより密接な研究協力への糸口が得られた。また、他分野の教授グループとも意見交換をする機会があり、伝統の維持、発展に向けての不断の努力の一面を見ることができ、極めて有用な滞在であった。

ケンブリッジ大学では、Dr. Payne, Prof. Ashbyと議論を行なった。Dr. Payneとは、キャベンディッシュ研究所で開発したプログラムの内容および日本への導入について議論を行ない、双方にとって有用な方策を今後検討してゆくことになった。Prof. Ashbyとは、材料選択、材料設計、材料データシステム、モデリング、EDCプロジェクトについて、広範な議論を行なった。理論を専門とするグループとのアプローチの大きな違いは、事実としての実験データと確立したモデルとを基軸に考えている点で少なくともこれから設計をしようとする技術者にとっては、直

接的で有用な情報を提供している点である。つまり、材料がシステムの中でどのようにふるまうかの大要は既存の知見により十分に把握することができるという考え方で人工物に対する基本的枠組みを用意しているとも言える。この点に関しては、モデリングの本質に関わる重要な問題であり、また設計プロセスにも大きな影響を与える問題であり、今後の研究協力の中での具体的な検討を基台に議論を行なう予定でいる。

今回の出張は短期間であったが、設計のダイナミクスと様々なレベルの理論、モデル、データの役割を深く考えることができ、今後の展開を計る上で極めて有用であった。継続した本格的議論は本年11月に開催を予定している「複雑な問題に関する意志決定に関するワークショップ」、明年1月に開催予定の「材料設計のための国際的に分散したデータベースおよび知識ベースの統合化」第2回シンポジウムの機会を利用して、発表する予定である。

## ■「材料設計のためのデータシステム」共同研究報告とその後

人工物工学研究センター 岩田修一

アメリカ合衆国NIST(National Institute of Standards and Technology)のDr.Rumble,Jr.が平成5年6月1日～30日の間、東京大学学術研究奨励資金の招聘により、人工物工学研究センターに滞在した。

これまでの種々の材料データベース、データシステムに関する10年間に及ぶ議論を前提として、今回は設計論に関しては、Ullmanの設計タイプ、Suhの設計の科学、機械設計と材料データとの関係についてはISO-STEP,技術革新システムに関しては人工物工学研究センターで構築中の超伝導材料データシステムを共通の題材として設定しつつ議論を行なった。

材料設計に関しては、今世紀における2つの革命が、その可能性に大きな影響を与えている。すなわち第1に量子力学の誕生は、材料の特性はどんな複雑なものであっても原理的には予測/説明可能であるとの確信であり、第2にコンピュータ技術の進展により物質内部の様々な現象を記述する基本原理を使えば時にコンピュータ内に実験によって確かめられるおぼろげな現実よりも現実的な世界を作りだすことを可能としたことである。

しかしながら、これまでの長い材料の歴史において、一つの強力な計算コードが材料開発を推進したという例は稀で、問題解決は、様々な角度からの段階的なアプローチによって達成されることが多い。開発の対象となる材料に対する理解を深め、部分的な改良を行い、得られた結果による知見の再整理を行い、次の改良案を作成し、次第に目標が達成される。

この段階的なプロセスの中の設計シナリオの検討においてデータベース、知識ベースが重要な役割を果たし、新たな知見の生産、獲得においてはモデルが極めて重要となる。多くの設計事例において観察される事実は、非決定論的でダイナミックな関連情報の効率的ブラウジング、解析/モデル予測/実験などによる新たな知見の増加と作業仮説のダイナミックな生成、検証であり、さらには同時平行的に進行する問題解決にとって重要な情報の組織化であろう。

実行プランの作成には、明確な意図が必要であるが、解法はそれぞれの状況において利用可能な情報資源に大きく依存する。つまり材料設計においては、そこで関与する人間も視野にいった“vivid”な機能をもつデータシステムが必要で、今回の共同研究を基台にして、そのためのシステムのガイドライン、仕様をこの機会にまとめておくことは、大きな意味があることに同意した。具体的には、高温超伝導材料システムにおける検索、ブラウジング、関連情報のプロダクションラインとしての組織化形態には、目標とすべき材料データシステムの基本仕様が埋め込まれており、これを今後の日米協力のテーマとしてより実用的な観点から検討して行くことを確認した。

議論の詳細については、共著で発表予定の以下の論文に譲りたい。

### Computer-Aided Materials Design

#### I. The Change of the Paradigm and Types of Materials Design

#### II. Definition of Types, Information Requirements and Standards in Dynamism of Design

今回の滞在は、1ヶ月と短かったが、極めて多忙なDr.Rumbleとじっくり話し合う機会が得られたことは、大変有益であった。

また、本大学に関する多くの私的コメントを受けたが、報告者も同様の意見であるので、報告者の責任で本人の了解を得ずに敢えてその主なものを以下に列挙する。

1) 米国と比較した場合、図書整備が極めて悪い。特に、それぞれの分野の基本的教科書については、ほとんど整備されていない。また、各図書室に文献検索やファクトデータベースの端末が備えられていないことも奇異で、またあったとしても、ほとんど利用されていないのが不思議である。

2) 環境のよいところにはあるもののインターナショナルロッジは狭く、息苦しい。それに比較して山上会館のツインは快適である。

3) 運動会のトレーニング施設はなかなか良い。

4) 人工物工学研究センターは、研究チームとしてもテーマとしても興味ある試みである。また、企業からの研究者も交えた研究会はOpenで、米国では組織しにくいもので、うらやましい雰囲気があった。

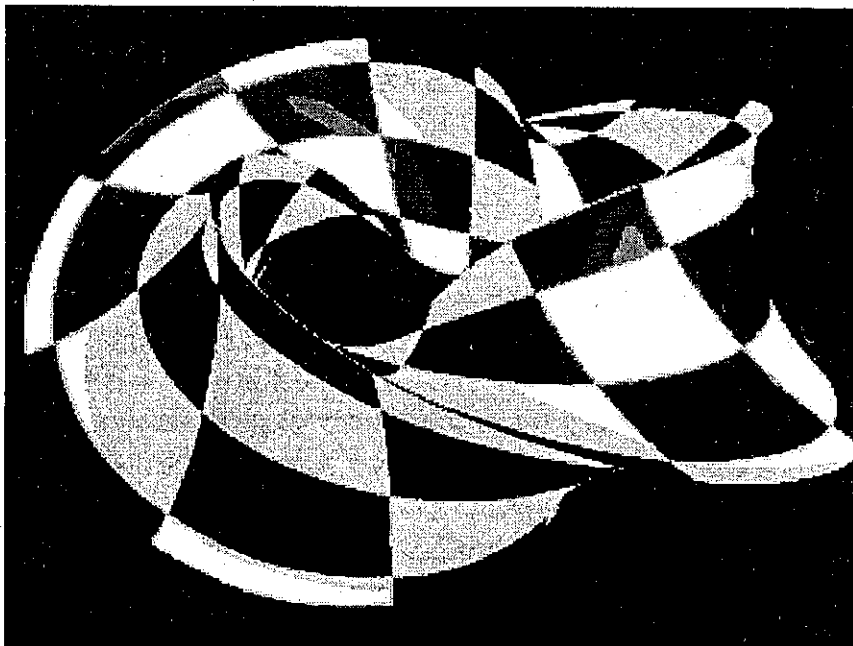
5) 多数の教官、研究者を紹介されたが、覚えきれないので、写真つきの資料があると便利である。全体的にも英文の紹介資料は少ない。

6) 研究室の計算機環境はよく管理され、米国ともコミュニケーション可能で、不便を感じない。今後の米国との研究協力を考えるときのインフラストラクチャーの点での障害は計算機環境に関しては少ない。

7) チームの活力を維持発展するための努力を高く評価する。

8) 今回の訪問は極めて有効であったので、これを契機に今後の米国との人的交流をより盛んなものとすることを希望する。

Dr.Rumble とは、離日の約3ヶ月後、米国NIST(Gaithersburg) で、ASTM主催の第4回International Symposium on Networking and Computerization of Materials Data において再会した。この機会を利用して、上述の議論の“実”を達成するための具体案の検討を行い、情報交換、研究者の交流、共同研究へ向けての一步を踏み出したという段階で、今後の新たな展開に向けての水面下の作業を進めている。



## ■これからのハイブリッド&ハイパフォーマンスコンピューティング

人工物工学研究センター 大学院博士課程 安東孝二

### 1. はじめに

私が初めて計算機に触ったのは、大学1年の春。図学に取り入れられた情報の講義での中でした。当時は駒場では最も美しかった教育用計算機センターに並ぶ16ビットパソコンを見て感動したものです。そこではBASICなる言語を巧みに操る得意げなパソコンマニアや、80年代に花開いた構造化言語（中でも教育用といわれるPASCAL）でゲームを作る輩が活躍し、わたしはただ感心して見ているばかりでした。何しろ私は計算機といえば電卓の計算の速いものという印象しかなく、プログラムというのを書くにはマシン語という奇妙なものを勉強せねばならないと思っていました。最初から面倒な機械だと思っていました。しかし、幸いにして私はタイプライターが打てたのでQWERTY配列のキーボードならなんとかこなせるし、日本語ワープロの延長のような感じでつかううちにコンソールに慣れてきました。このような用途では16ビットパソコンで十分でした。

当時はパソコンレベルでは16ビットパソコンがヒット商品として店頭に並んでおり、Intel系のCPUのクロックが12MHzの時代でした。EWSもそんなに速くはなかったし、普及もしていませんでした。Time flies! 私が普段使っている研究室で最も遅い部類のEWSでさえ、その100倍以上の速さで動いています。技術革新と私自信の環境の変化が一気に私の使えるマシンを変えたのです。7年前50万円で遅いパソコンを買っていた人も今では50万円でかなり速いEWSが買える時代になりました。

そんな時代になっているにもかかわらず、計算機の仕組みは根本的には全く変わっていません。計算機というのは、ノイマンという人が考え出したのですが、いま皆さんが使っているコンピュータは全部ノイマン型です。簡単に言うと、メモリのデータを1つの演算装置が扱っている形です。例えば、次のようなアルゴリズムの演算があるとします。（アルゴリズムを書くときはPASCALが用いられることが多いのですが、もうCでもいいでしょう!）

```
for (i=1;i<n-1;i++){
    for (j=1;j<m-1;j++){
        aa[i][j]=(a[i][j-1]+a[i][j+1]+a[i-1][j]+a[i+1][j])/4.0;
    }
}
```

簡単にわかるように、aという2次元配列の(i,j)番目の上下左右を平均しています。これを伝統的な計算機がやると、同じ様な計算（つまりループの中身）をn\*m回繰り返す訳です。当然時間がかかりますが、いままではCPUの速度を向上させることで対処してきました。皆さん御存じのような科学技術計算のプログラムではこのようなループがたくさん存在し、その計算時間のほとんどをこのループに割いています。

今までメインフレームで大規模数値解析、シミュレーションなどの計算を行って来た人はこれでは困ります。どうにか数値計算の速さを上げたいためにメインフレームに取り付けられたのがベクトルプロセッサでした。このベクトルプロセッサはパイプラインという方式を用いており、このようなループに対して極めて適したプロセッサです。ベクトルプロセッサの中では複数の処理が一度に行われます。ですから、これは並列計算の最初と言えなくもありません。現在では、Fortran77などのプログラムの中からループを抽出し、コンパイラが自動的にベクトルプロセッサを使うように、ある程度は最適化してくれます。このベクトルプロセッサが活躍すれば活躍するほどプログラムは速くなり、そのプログラムはベクトル化率がよいといわれます。現在、国公立大学の大型計算機センターに入っているスーパーコンピュータは全てこのベクトルマシンです。東京大学大型計算機センターの金田先生はこのコンピュータを使ってアルゴリズムの方を研究して、 $\pi$ 計算では世界一です。アルゴリズムをちゃんと考えればこれだけたくさんの計算ができるというすばらしい見本です（なお、スーパーコンピュータとは300MFlopsを越えるものを言うそうです）。

しかし、大規模計算に必要な速さは無限の速さです。アルゴリズムだけではだめです。コンパイラも頑張らなければなりません。ハードウェアも速くしなければなりません。ところが、この今のやり方ではハードウェアの速さには限界が見えてきました。現在のシリコン素子では限界に近いところまで来ています。もっとスイッチングが速いジョセフソン素子が出来ても、計算機の仕組みが変わらなければ大幅な性能アップは期待できません。コンピュータを構成する全てがバランス良く速くならないと最高の速さには到達しません。究極的には、2進数の世界であるハードウェアを4進数にする（つまり、スイッチングを4種類にする）ことまで必要だと私は思っています。

でも、もっと簡単に出来ることがあります。ベクトル計算機で始まった並列化です。分業をすれば仕事が早く終わるといのは、何百年も前に人間が得た知恵です。昔は計算機資産が乏しく、一つのコンピュータを複数の人間で同時に使うようなことが一般的でしたが、現在のようにプロセッサのコストが下がって来た状況で並列計算を押し進めない手はありません。

たとえば、CM-2というSIMD型超並列計算機の上で同じ事をすると（私はCMFortranという言語で書いているので、それで書きます。）

$$a=(eoshift(a,1,1)+eoshift(a,1,-1)+eoshift(a,2,1)+eoshift(a,2,-1))/4.0$$

というステートメントになり繰り返しにはならないのです。

これから並列計算を取り巻く状況と、ハイパフォーマンスコンピューティング、スーパーコンピューティングが現在どのような方向へ向かっているのかお話しします。

## 2. ハイパフォーマンスコンピューティング

リアルタイム処理を追求するヴァーチャルリアリティなどにもかなりの速さが必要ですが、科学技術分野においては一般に計算量自体が絶対的に大きなものになります。特にシミュレーション分野においてはそれが顕著です。その絶対的に大きな計算量をこなすために、いろいろなアプローチが取られています。現在のトレンドは以下の物に大きく種別されます。

### 2.1 WS Clusters

最もコストを押さえて計算できるのが、このワークステーションクラスタです。計算速度では3つの中では最も遅くなります。同じ機種をならべてパフォーマンスを上げるほうが比較的楽なため、T9000（トランスピュータ）を用いたParsytecのものやDECのAXPのクラスタが有名です。ただし、ParsytecのものはMIMD計算機と見たほうがよいかもしれません。DECのAXPはGIGA Switchというネットワークで結合され、一般的なクラスタのボトルネックとなるネットワーク部分を改善しています。ただ、このような専用ハードを付加すると、パフォーマンスがあがる反面、コスト的には不利であるとともに、ダイナミックにクラスタを切り替えるようなことが出来なくなるといった欠点も出てきます。一般のワークステーションではいわゆる分散計算を支援するソフトウェアを用いて計算を行うことが多く試されています。この中で私が注目しているのが、PVM (Parallel Virtual Machine) です。このソフトはヘテロな環境を想定したもので、かなりのベンダーのマシンに対応しており、様々な計算機資産を統合して使うことが出来ます。バージョンアップ後はかなりパフォーマンスがあがったように思われます。（現在、評価&移植中です。）通信部分を制御するdaemonをユーザー権限で走らせれば、ライブラリをプログラムにリンクするだけで動作できます。プログラムもCだけでなくFortranにも対応しており利用価値は高いと考えています。ただ、計算機に詳しい人でないとパフォーマンスを上げるのが難しいことは否定できません。まだまだ発展途上ですが、ソフトウェア的に複数のマシン、プロセス、スレッドを結合するというこの方式は、将来に渡って使われていくと思います。

### 2.2 TVS

現在、大規模計算をする人のほとんどがこの計算機を使っています。計算をする人は必ずしも計算機に詳しいとは限らないので、歴史のあるこの計算機での計算はかなり妥当です。しかし、私自信はベクトル計算機はあまり興味がありません。別にベクトル計算機が嫌いな訳ではないのですが、長い目で見るとこれからのハイパフォーマンスコンピューティングにおいては、将来性が少ないからです。欠点としては以下のことが考えられます。

#### (1) 値段が高い

開発費が高い

市場が狭い（コストダウンしない）

消費電力と冷却コストが高い

#### (2) 信頼性が低い

メンテナンスが大変である

パーツが特殊であり、かつ数が多い

#### (3) マシン依存のコードが多い

### 3.3 MPP (Massively Parallel Processing)

私が最も将来的に有望で、実用的であると考えるのが超並列計算機です。いまのTVSに取って代わる筈です。

ちなみに超並列計算機とはプロセッサが1000個以上あるものを呼ぶようです。注目されるのは、Flynnの分類でいくとSIMDとMIMDです。とくにアーキテクチャではMIMDタイプで運用上はソフトウェアでSIMDのエミュレーションをするものが有望です。(MIMD: Multiple Instructions and Multiple Dataflow プロセッサ間のメッセージパッシングを伴うためプロセッサ毎の同期を取る必要がある。) (SIMD: Single Instruction and Multiple Dataflow シーケンサからのブロードキャストですべてのプロセッサが同じ命令を受けるため同期を取る必要がない)

それは以下の理由から言えます。第1に、MIMDのアーキテクチャなら現在市場に出ているマイクロプロセッサ(SuperSparc, i860, etc.)を利用できます。これは大切なことです。独自のプロセッサを利用するとコストが非常にかかる上に、性能も出にくいのです。信頼性も同じです。第2に、SIMDパラダイムの方がTVSからの移行が容易に出来ます。ハードからはMIMD、ソフトからはSIMDのアプローチが最適なのです。

現在、多くの超並列計算機が市場に出ています。最近注目されているのが、TMC(Thinking Machines Cooperation)のCM-5とIntelのParagonです。私はCM-5を使っていますので、こちらを詳しくお話します。

TMCは以前にCM-2というSIMD計算機を世に出し成功した会社です。どれくらい成功したかと言うと、Fortran90やHPF(High Performance Fortran)の企画がCM(Connection Machine)のCM Fortranとほとんど変わらないほどです。先駆者と言えるでしょう。独自の1bit (SIMDは細粒度です!)プロセッサを最大64k個も繋げて世間を驚かせました。各プロセッサをハイパーキューブ結合していたために近傍のデータ通信は良好でデータフローマシンとしても十分な性能を挙げました。ところが、世の中でマイクロチップの高速化がすすみ、さらにはMIMDマシンの方が無駄なくチューンアップ出来るため速度的に不利になりはじめました。ここで出てきた新しいマシンがCM-5です。このマシンはCM-2とは全く異なるアーキテクチャでSuperSparcを積み、ネットワークも3層のFATtreeになるなどCM-2の名残は全くありません。名残があるのは言語です。CMFortranは科学技術計算ライブラリ以外は全く変更なしでコンパイルできます。これは重要なことです。ソフトウェアの蓄積の観点からするとソースレベル(できればバイナリレベル)の互換性は最低限必要です。基本的にはこうやってコンパイルされたソフトはSIMDで動きます。メッセージパッシングライブラリを用いるとMIMDで動かせます。現在、世界で一番速い汎用計算機です。

### 3. ハイブリッドコンピューティング

さて、くどくどとどんなものがあるのか説明してきましたが、私がこれからやっていきたい目標を説明しましょう。現在、岩田教授の元にいるわけですが、彼の目標として材料開発のプラットフォームを作ることがあります。材料のデータベース、シミュレーションマシン、知識ベース、推論エンジンを統合していけばバーチャルラボトリーのようなものを実現することです。私はシミュレーションマシンには並列計算機が最適だと考えます。しかし、他のものには並列計算機が適用できなくもないでしょうが、最適だとは言う気はありません。例えば、グラフィックスにおいてはSGIのマシンの方が使い勝手は良いと思います。それらのものを統合するのに分散計算、ワークステーションクラスタのテクニックが使えるのです。複数のヘテロなアーキテクチャマシンを強調して使用すればプログラム作成の自由度もあがり、オプティマイズも楽になります。ひとことで言えば、「適材適所」です。今年、6月にアルバカーキで行われたPhysics Computing '93においても様々な取り組みによる計算例が報告されていました。CM-2とCrayといったMPPとTVSの組み合わせでは、HIPPIで間をリンクし、それぞれ得意な計算で全体の速さを向上しています。また、CM-5とSGIのグラフィックスWSの組み合わせも多々見られました。ATMなどの高速リンクが普及すれば、このような分業はもっと多く見られるようになり、効率もずっと上がる筈です。

### 4. 終りに

随分と急ぎましたが、並列計算機やその周りの状況を取りまとめてお話しました。人工物工学研究センターにおいては各分野へ適用できるパラレル&ハイブリッド計算環境を構築することを短期的な目標にしてシステムを構築していく必要があると思っています。意欲的に取り組んでいきたいと思っています。

## ■「人工物工学の提唱」輪講会報告

人工物工学研究センター 日本学術振興会特別研究員  
金田 保則(kaneta@race.u-tokyo.ac.jp)

人工物工学研究センターではこの6月から有志のセンター学生および教官と、吉川弘之先生の「人工物工学の提唱」(イリュウム第7号、東京電力)の輪講会を行なっている。すでに7回ほど輪講を行ない、ここではその簡単な報告を行なう。

### 1. 発端

最初に私事の紹介で申し訳ないが、私がこの人工物工学研究センター(以下、単にセンター)に来て、はや半年が過ぎようとしている。東北大学理学部物理第2学科を今年の春修了した私にとって、工学に関する知識はほとんど無に等しいものであり、センターが対象としている研究の内容も、岩田教授から若干の説明はあったもののここに来た当初はほとんど理解していなかった。設計学の講義などももちろん聞いたこともなく、工学における問題意識は、工学部の学生より低いものであったといえる。そこで、教官の方々に指し示していただいたのがこの論文であり、さらに学生・教官を交え、輪講を行なうことにした。

### 2. 形態と内容

輪講は原則として参加自由である。現在の参加者は、教官3,4名、学生4,5名に私を含めた程度であり、時々1,2名の増減がある。またセンター外の学生の参加もある。輪講は基本的に、隔週水曜日の午前中(10:00~12:00)に行なわれる通常の輪講と互い違いに、水曜日の同じ時刻に行なっている。場所は主に、東京大学本郷(浅野地区)にある総合試験所1階の会議室であるが、実は一定しているとは言い難い。これら日時・場所の連絡は主にワークステーション間の電子メールで行なっている。

輪講の進め方にはこれと言って特別変わったものはない。輪講参加に積極的な学生の持ち回りでチューターになってもらい、割り当て部分の朗読とその部分に対しての質問や議論を自由に行なっている。雰囲気としては、勉強会と言うよりもお茶会に近いと言えるかもしれない(余談であるが、私は毎回お茶とケーキを用意してもいいと思う)。また、適当な段落毎に区切って、声を出して読んでいく方法をとったのは、議論の焦点を絞り込むことはもちろん、あえてこの文の枝葉にこだわろうとしているからである。吉川先生の文章は、非常に含蓄の深いものであるが、それゆえに行間のとらえ方は人により多様である。一言一句にこだわり議論を行なうことにより、各人の間で問題意識の共有ができると信じている。

最初に述べた通り、既に7回程の輪講を行なったが、A4用紙に2段組15ページほどの文章のうち8ページほどしか進んでいない。これは、内容に関する議論が白熱している証拠とも言えるが、実際は議論が吉川先生の文章から発展し、例えば「これまでの工学は学問であったか。」とか「領域の否定は本当に必要か。」などという話しに時間が割かれ、議論がどんどん発展(発散?)してしまうためである。また先日は、「経済成長率が常に正でなければならない理由は何か。」というような質問が、工学部大学院の学生から経済学出身の馬場助教授に出されるなど、その場に居合わせなかった人間には本当に輪講を行なっているのかと疑われそうな内容になることもある。もちろん、この質問は、「無限性環境の仮定から生まれた現代の邪悪なるもの」を「市場の有限性により顕著になった経済問題」に置き換えたところに端を発しており、的を得た質問であったことはいうまでもない。こういった内容の議論は、センター全体の研究課題とも言える問題を数多く含んでいるが、まとまった結論を出すのはやはり難しい。

この輪講の記録は、箇条書程度の断片的なもので良いからなるべくとっておくようにと、チューターの方々にお願いしてある。これも電子メールでやりとりされている。断片的な記録なので、残念ながらそのままでは人様にお見せできるような形にはなっていない。もちろんあまり詳細な記録をチューターに求めるのは負担であり、それよりはその場での積極的な発言をしていただきたいというのが私の考えである。もちろんこの輪講の終了時には、「人工物工学の提唱(吉川)を読んで」というような題名で、チューターをしていただいた皆さんに何らかの形にまとめていただき、それを次回のRACE Newsでご紹介できればと考えている。

### 3. おわりに

先に述べたように、現在は時間および場所が一定しないこの輪講も、今秋センターが駒場第2キャンパスに移り、会議室を含めた専用施設を持つことにより定期化されるものと思われる。センター移転後、新たな環境の中でよりいっそう充実した議論が行なわれ、また外部の方々を含めより多くの参加者が輪講に訪れることを期待したい。

(1993年10月4日)

## ■RACEセミナー「人工物工学と人工現実感(1993年9月29日)」議事録

工学部 廣瀬 通孝, 広田光一

## 1. 人工現実感の最近の変化

人工現実感(以下VR)という言葉がはじめて使われたのは1989年ごろである。CG、トレイグジスタンス、シミュレーションなどの研究分野の融合によって、VRという分野が生まれたのである。それから4年が経過したが、その間にVRは広く世の中の人々に認知されるようになった。先日シアトルで持たれたVRの国際会議にはおよそ500人の参加者があった。さらに、単なる学問の枠を越えて、広くビジネスへの応用可能性が議論されるまでになっている。

## 2. 没入感の実現

人間の受け取る情報の9割が視覚によるものであるといわれている。従って、VR技術においても視覚系が重要であることには変りない。ところで、現実に近い映像を生成するだけであればCGの技術で十分である。たとえば、映画「ジュラシック・パーク」の中のシーンはCGで作られている部分が多岐にも関わらず、それがどの部分なのかを見分けることは難しい。CGの技術はこの程度まで進んでいるのである。それではCGとVRとはどこが違うのか。その一つのキーワードはPRESENCEということである。これは、映像世界への没入、第一人称的視点を意味する。たとえば、ボーイング社はB-777型以降の航空機の設計をモックアップなしに行なうと宣言している。従来の機体の設計ではモックアップを利用した配置やゆとりの感覚の確認の作業が不可欠であったが、これをVRによるシステムで代替しようというわけである。このような場合に、たとえば機内に本当にいる感覚、すなわち没入感を生成することが必要となる。

もちろん、没入感は単純に映像をCRTに表示すれば得られるというものではない。従来の情報工学の考え方では、情報はどこかに書いておけば読んでもらえると思込みがちであるが、これは大きな誤りである。面白い例として、航空写真を見せるのに壁に投影するのと床に投影するのでは、感ずる恐怖感が全然違うといわれている。頸筋からの入力が見覚野に入力されているため、視覚は単なる網膜像ではない。

視野角も重要な要素である。良く知られたものとして、NHKが行なった、画面の視野角が没入感に与える影響の実験をあげることができる。画面に水平線を表示させ、この水平線を揺動させる。画面が小さいうちは画面が揺れていると感じるだけであるが、視野角が20度程度になると体の重心が揺れに合わせて動きはじめる。すなわち、画面の側への没入がはじまる。さらに視野角を大きくしていくと、およそ80度まで没入感は増加するといわれている。

大画面を実現する技術としてOMNIMAXなどが知られている。これは、球形ドーム型のスクリーンに映像を投影する方式である。最近では、CAVEと呼ばれるシステムが試作されている。これは、壁面と床に映像が投影された映像の部屋であり、数値シミュレーションの結果の中に入り込むことをうたい文句としている。来年のSIGGRAPHでは、このシステムを使用して、米国内のスーパーコンピュータをネットワークと接続して大規模なデモを行なうことが計画されている。

これらの大スクリーンの欠点としては、インタラクションが実現しにくいことがあげられる。スクリーンが遠方にあるために、自分の手と仮想の映像の干渉において色々難しい問題が生じるためである。このような観点から生み出されたのがHMDである。HMDも世に出た当初は実用になるものではなかったが、この4年間で大きな進歩が実現されている。

液晶を利用したものとしては、Sonyの開発したバイザートロンが話題である。視野角およそ30度、重量わずか300g、価格は販売されれば10万円程度といわれる。この他にHMDとはいえないが、バイザー型のテレビともいえるものとしてバーチャル・ビジョンがある。CRTを利用したものも開発されている。現在最も高品質のものは、n-Visionと呼ばれるシステムである。このシステムでキーとなっているのが、液晶を利用したカラーフィルタの技術である。n-VisionではモノクロのCRTとこのフィルタを利用して、時分割で色再現を行なっている。この結果、1000×1000ドットのハイビジョンなみの解像度がHMDでは可能である。これらの技術はテクトロニクス社の特許である。

解像度だけでなく広視野を追求したHMDも存在する。光ファイバーを束にした特殊なレンズを利用して、平らなCRT管面の映像を曲面にマップできるシステムが開発されている。このシステムにより、目の近傍に視野のほとんどを覆うスクリーンを実現することができる。これにより、モノクロではあるが、解像度1500×1500ドット、視野角180度以上(片目)が実現されている。焦点距離調節のためにコンタクトレンズを使用しなければならないのが、このシステムの欠点である。

HMDにおいては、日米における液晶とCRTとの競争の構図が見えてくる。日本のメーカーの多くが液晶を採用して



いるのに対して、米国では液晶に対する不信が根強い。どちらが勝つか興味深いところである。

液晶でもCRTでもない技術として、レーザによる網膜直接投影の技術がある。これは、ワシントン大学HITラボラトリで研究が進められている。マイクロマシン技術を利用してレーザ光を振り、瞳をとおして網膜に直接的に像を描くというのが原理である。現在のところ、赤黒の画像を投影できることが確認されている。このタイプのディスプレイを構成するレーザ発信器およびこれを振る装置はいずれは小型化が可能であり、HMD技術としての実用化が期待される。

### 3. 対話性の実現

さて、VRのもう一つのキーワードはINTAERATION(対話性)である。従来の映画などは、シナリオが固定されたものであり、観客が如何なる反応をしようともそのストーリーは変化しない。VRでは自由なシナリオが実現できることが一つの特徴であるが、これを実現するためには体動をはじめとした、人間の種々の反応を入力するデバイスが必要である。

最も良く知られているのが、グローブ状のジェスチャ入力装置である。グローブとしては最近ではサイバークロブが広く利用されている。これはバーチャルテクノロジー社の製品である。もちろん入力源は手のジェスチャに限らない。たとえば、表情の変化を入力するデバイスもすでにいくつかが開発されている。この技術を利用して日立が行なったのが、「かおり」と呼ばれるバーチャルアクターの試みである。これは、仮想空間で仮定の俳優に演技をさせるわが国はじめての試みである。

### 4. それ以外の感覚の利用

視覚以外の感覚情報を積極的に利用することもVRの特色の一つである。視覚については、空間センサと上述のHMDで合成が可能であるが、聴覚については、3次元音場を再現する装置としてコンボルトロンが広く利用されている。これは、頭の周囲の任意の位置に音源を定位させることができるシステムである。最近ではさらに雨音などのように周囲から漠然と発せられる音を表現する試みへと研究が進化している。

この他に、触覚などの体性感覚も重要であり、鋭意研究が進められている。

### 5. まとめ

このように、VR技術は、シーズとしてかなり早い速度で進歩を遂げてきた。今後は、具体的応用の議論が積極的に行なわれていくことになるであろう。

### ■質疑応答[以下、Q:質問 A:返答 C:コメント]

Q: 遠くの大画面と近くの小画面の違いは?

A: 輻輳や焦点調節の問題があるが、これを除けば違いはないと考えられる。

Q: 大画面を実現する商用のシステムは?

A: ユニバーサル・スタジオのバック・トゥー・ザ・フューチャーのライドが有名である。

Q: VR技術は対象を感覚的に表現する。これは、想像力の減退を招くのではないか? また、画一的な表現形態を押しつけることにもなりかねず、ある意味では、イメージーションのマニュアル化なのではないか?

A: リアリズムの追求だけが唯一の方法でないことは確かである。同じ絵でも、線画で描いた方がリアリティがある場合もある。また、現在のVRでもそうであるが、ある種のだましの技術が有効である。また、人間の感覚自体が時間的に変化するものであり、常に同じような表現が適当という訳ではない。情報のうちのどの部分をリアルにしてどの部分を切り捨てるかという抽象化の技術が重要になってくると考えられる。

C: 18金のVRというのが良いと思われる。

Q: ソフトウェアの可視化に関して、プログラム自体は論理的なものであるのに対して、VRは感覚的な表現を得意とするとされる。矛盾しないのか?

A: ネットワークや並列プロセスの全体的な振舞いに関しては論理的なアプローチでは追うのが難しい。このような全体的な戦略に相当する部分では感覚の入り込む余地がある。

Q: 現実的な対象であれば3Dの形状を持ち3Dの仮想空間で表現できる。ネットワークなどの形を持たない対象は3Dにどう対応つけるのか。

A: 数学的には計算機の内部では次元は幾つでもよいが、人間にとっては3Dが理解し易い。3D以上のものであっても、複数の感覚を利用することで表現が可能である。たとえば、流れ場などの表現であるが、これには、視覚・聴覚・

風覚などの感覚を動員することが考えられる。複数の感覚の利用により、一つの感覚のみで提示した場合より認識が深まる場合がある。各々、独立では60点でも、全部合わせて90点という考え方である。

Q: ARという言葉は今では使われないのか?

A: どちらも同じものと考えている。ただ、VRとARとは語感に微妙な違いがあるようだ。どちらがよいと考えるかは人によって様々である。現実のまねであるのか現実を越えたものであるのかなど細かなニュアンスによるのである。

Q: 神経に直接電極を接続したりはしないのか?

A: 当然考えられる。この話題は、VRの麻薬性と関連して論じられる。VRは現実にはないものをあたかもあるかのごとく五感に提示する。この意味で麻薬による幻覚と似ている部分がある。しかしながら、現実とは何かを考えた場合その定義が難しいことに気がつく。たとえばJPLの金星の合成映像あるいはマイクロマシンの顕微鏡写真を仮想現実と見るか現実と見るかは難しい問題である。原体験に基づかないものは、ある意味ではすべて仮想のものなのである。

Q: VRは対象をわかりやすく表現する。しかしながら、対象の複雑さが変化するのではない。すなわち、わかり易い部分だけをわかりやすく表現しているに過ぎないと思われる。これは、人間が頭を使わなくする方向に作用し、人間の進歩を妨げるものではないか?

A: VRの利用にも様々なレベルが考えられて、単純にわかりやすく表現すれば良い場合もある。より上のレベルにおいては当然見ているものと現実とがどのような関係にあるのか良く認識しなければならない。たとえば、NASAの金星の合成映像は実は高さ方向に5倍に引き伸ばしてあるものであるが、これを正しく認識していないと実際に金星に降り立った時に、考えていたものとの違いに驚くことになる。

C: 大橋先生の筑波病の研究がある。大橋先生は環境音に注目して、その中に高周波成分が少ないことを指摘した。1/fゆらぎについても同様である。

Q: 1/fゆらぎであるから良いという考え方は疑問がある。なぜならある音楽について考えると、これを逆回転で再生しても同じ結果が得られるが、音楽としては全く異なったものになっている。音楽自体のよさを理解していない人が頭だけで考えた理論としか思えない。

A: リアリティについても画一的な指標では言い表せない。一般にはNTSCよりもHDTVのほうがリアリティが高いとされるが、映像によっては、HDTVのほうがつやが消えて見える場合がある。また、大画面にすると映像の動きの滑らかさが損なわれて感じられる場合がある。HDTVでは、キメまで見ることが良いとされるが、これは好みとは別の問題である。また、リアリティの均一さも重要であって、ある1部分のみをリアルに表現すると、他の部分のアラが目立つ場合がある。

## ■RACEセミナー「知識の体系化（1993年10月6日）」議事録

人工物工学研究センター 日本学術振興会特別研究員 吉川浩一

### 1. 人工物工学における知識

- ・いわゆる暗黙知の問題
- ・暗黙値を明示的に言語化

### 2. 暗黙知

- ・ dead engineering では skill + compiled knowledge
- ・ live engineering では nebulous mental world + skill + compiled knowledge

### 3. 体系化の産物

- ・ dynamicに再構成される知の体系(重要)
- ・ テキスト、カリキュラム(副次的) → 例えば用語辞典の作成

### 4. 発想支援システムの紹介

- ・ 自ら創造するcomputerではない
- ・ conceptづくりに役立つ道具

(1) AA1: 単語の関係(遠近) → 空間配置決定

(2) CAT1: キーワードの関係+カード → キーワードの配置

(3) 自動車 concept design 支援: 代表点としての具体的な自動車の配置 → 概念の関係を抽出

- ・一般にはArtistsとMechanical engineerの概念が一致しない
- (4) 車体形状設計支援：代表点としての具体的な自動車の配置 → 車体形状を生成する
- ・主観データから客観データを推測する

#### ■ 質疑応答

#### 1. 医学用語の体系化

- ・比較的语言化されている
- ・情報として落ちている部分もある(例えば時間の経過の影響)
- ・テキストの知識はscientificな知識といえないのでは

#### 2. 多次元尺度解析

- ・解析方法としては定着している
- ・手法がいくつかある。手法によって解が異なるのでは？  
→ ユーザによっては使いたい手法を指定するが見ためにはほとんどかわらない
- ・バッチ的に利用するのとinteractiveに利用する違いは大きい

#### 3. nebulous worldの位置付け

- ・nebulousはacademic knowledge, compiled knowledge, skill全部に節点をもつ？
- ・nebulousの上にcompiled knowledgeがある？
- ・nebulousが貧困だと良いものは結局出てこない  
→いきなりよい解を得るのではなく、初期値に手を加えて良い解を得ることを支援する
- ・本質的にnebulousなもの  
→発見の論理  
→アブダクションがどこまで切りとれたか
- ・Scientistにはnebulousなものはない(米国人の解釈)  
→object levelとmeta levelの混同がある  
→object levelではnebulousではない  
→欧州はnebulousを理解・評価する

#### 4. 分節化

- ・対象をまるごと分節化していくのか、部分的に世界を切りとるのか  
→まるごとの分節化は考えない  
→部分的分節化によりそのまわりを活性化する

#### 5. 研究のフレームワーク

- ・micro concept → 組合せ(可能世界) → 言語化 → 新しい概念
- ・外界からの刺激により組合せが変化
- ・問題によって可能世界を切替える → controlの仕組みはよくわからない
- ・controlにはアナログが利用されているのでは？
- ・micro conceptのライブラリのようなものは見えてきているか？  
→現状ではない。現場での使用を通じて地道に知見を収集するしかない

#### 6. 問題解決のための発想支援

- ・問題解決のための発想支援は可能か
- ・大規模データベースが背後にある
- ・役立つ結果を得るには  
→大量の情報が必要 ←→ 解としてゴミを多量に出す  
→この矛盾の解決が必要 →「日頃の努力がむくわれる」発想支援システムの構想
- ・知識ベースはあまりかわらない → 熟練者との違いは知っていることをすぐに引き出せるかどうかの違い

#### 7. 背景世界との関係

- ・単一の製品でなく、その製品を含む世界の違いはどのように反映されるか  
→背景世界も含めて扱い、ものの配置を入力してもらうというより、新しい世界をつくってもらう

■東京大学大学院講義「人工物工学序論」(平成5年度夏学期火曜4時限 工学部74号教室)

人工物工学研究センター 久保田晃弘, 馬場靖憲

平成5年度より東京大学工学系研究科の大学院講義の一つとして、下記のようなオムニバス形式の講義を開始した。内容的にはまず「人工物工学への道のり」と「人工物工学の視点」という「前」人工物工学とそれ以降と大きく2つに分け、あとは各講師にそれぞれの思いを十分に語っていただいた。またアートプロデューサーの安東孝一氏を特別講師にむかえ、講義のレベルにおける異分野交流も試みた。講義を行うことにより講義内容が生み出されていくような形態には、賛否両論があるのかもしれないが、今後ともこの講義を継続し「人工物工学序論」から「人工物工学原論」へと育てていきたいと考えている。

- ・第1回：4月20日(久保田)「イントロダクション」  
現代工学の問題点と人工物工学の提唱
- ・第2回：4月27日(馬場, 久保田)「人工物工学への道のり(1)」  
システムの科学、パースの認識論とアブダクション
- ・第3回：5月11日(田浦)「人工物工学への道のり(2)」  
一般設計学
- ・第4回：5月18日(馬場)「人工物工学への道のり(3)」  
日本の製造技術の特質
- ・第5回：5月25日(久保田)「人工物工学への道のり(4)」  
一般システム理論, シナジェティクス, 散逸構造, 非線形力学と設計
- ・第6回：6月1日(桐山)「人工物工学の視点(1)」  
設計学と知的CAD, 知識の体系化と大規模知識ベース
- ・第7回：6月8日(吉村)「人工物工学の視点(2)」  
知的シミュレーション
- ・第8回：6月15日(中島)「人工物工学の視点(3)」  
マイクロマシンの設計論
- ・第9回：6月22日(岩田)「人工物工学の視点(4)」  
材料設計と機械設計
- ・第10回：6月29日(富山)「人工物工学の視点(5)」  
ポスト大量生産パラダイム, IMSプロジェクト, 自己修復機械
- ・第11回：7月6日  
特別講義「言語外言語としてのアート」 安東孝一氏(アートプロデューサー)
- ・第12回：7月13日(田浦, 久保田)「人工物工学の視点(6)」  
生物と人工物, オートポイエーシス
- ・第13回：7月20日(堀, 馬場)「人工物工学の視点(7)」  
発想支援と知識の体系化, ポジティブ・エンジニアリング

RACE News No.2 (非売品)  
発行日：1993年10月26日(火)  
発行者：東京大学人工物工学研究センター  
113 東京都文京区弥生 2-11-16  
TEL: 03-5802-2908  
FAX: 03-3815-8393