

人間を指向した研究開発

Human-oriented Research and Development

武田 晴夫 Haruo Takeda

人間に関する研究への回帰

知能の集合が、元の個々の知能の単純な和を超えて能力を発揮する現象は、微生物から人間に至るまで生命活動全体で観測される。アリが共同で大きなエサを巣に運ぶ例は、その説明に頻繁に使われる。この現象において、個体と個体の間での何らかの情報交換が重要な役割を担っていることは疑いない。

われわれ人間社会では20世紀終盤に、IT (Information Technology) がインターネット、Web、検索エンジンへと進展し、人間と人間の情報交換が地球全体に突如拡大した。そのツールであるPC、ネットワーク、情報ストレージなどのハードウェア・ソフトウェア事業が世界経済を動かした。こうして築かれた情報交換のインフラストラクチャーの上に、今世紀にはまったく新しい人間社会全体の知能が築かれるはずである。その新しい知能が何であるかを知るために、人間に関する研究に今一度意識し

て回帰することが重要に思われる。

日立グループは1910年の日立製作所創業以来、電気、機械、交通、素材、家電、エレクトロニクス、医療機器、情報、サービスなどと業容を拡大してきた。これら事業を高い技術力で牽(けん)引するため、1918年の研究係設置に続き、1934年の日立研究所から1985年の基礎研究所に至るまで、現有する六つの本社直轄の研究所が設立されてきた(図1参照)。特に近年はグローバルな事業展開を加速し、2007年度には売上高10兆円、従業員39万人に達した。広範な事業分野とこれを貫く深い技術が大きな規模で、ある統制の下に一堂に会する環境を最大に活用して21世紀の人間社会を俯瞰(ふかん)し、その方向を予見することは、日立グループとその研究開発の一つの使命と思われる。各事業、各技術を個々の知能と見なせば、総合電機では冒頭の生命活動のアナロジー(類比)によって、大きなシナジー効果の発揮が可能ということになる。



中央研究所



基礎研究所



日立研究所



システム開発研究所



機械研究所



生産技術研究所

図1 日立製作所本社直轄の六つの研究所

日立グループの研究開発部門は、1918年の研究係設置に始まった。現在、日立製作所本社の管轄下には六つの研究所が存在する。

本特集では、日立グループの研究開発部門が取り組んできた人間に関する研究成果を、本稿を含めた10編の論文で紹介する。

本第1論文の概論に続き、前半4論文で事業分野を貫く基本技術を論じる。第2、第3論文は人間の計測に関する技術である。特に、第2論文は人間の脳を内から直接計測するアプローチ、第3論文は人間の行動を外から観測するアプローチについて述べる。第4、第5論文は人間の人工的模倣に関する技術である。特に、第4論文は情報処理による知能の模倣のアプローチ、第5論文はロボットによる行動の模倣のアプローチについて述べる。以上の基本技術論文では、過去長年にわたって蓄積されてきた内外技術の潮流の把握に努める。

後半4論文は基本技術が貫く事業分野において、人間指向の応用技術を論じる。特に、第6論文は移動空間、第7、第8、第9論文は、移動空間を介して結合する生活、オフィス、産業の各空間での人間指向の方向をそれぞれ概観する。これらの応用論文では、日立製作所および日立グループの広範な事業分野にまたがる内外応用技術の俯瞰に努める。最後の第10論文では、さらに時間を含めたライフ全体の空間での人間指向の方向性を、健康を焦点に導入する。

本稿では、以下、これら第2論文から第10論文の9編の論文を包含する大きな動きのモデル化、可視化を試みる。

『日立評論』は1918年の日立製作所研究

係設置とともに創刊されたが、その第1号¹⁾に、発刊理念の一つとして「製作家と需要家の貫徹せる意見統一」に向けてのオープンな情報発信によるイノベーションがうたわれている。本特集およびその英文版による日立グループからの人間指向の方向性についての発信が、グローバルなフィードバックを呼ぶこと、およびそれをベースにした協創によって、その方向を早期に現実のものにできることを願っている。

人間モデルと基本技術

単純化した人間モデルとして、外部環境に対して、感覚器官と、脳と、運動器官を持つ系を考える(図2参照)。この系では感覚器官が環境を知覚し、脳がその情報を処理し、運動器官が環境に何らかの作用をする。脳が情報を処理するときに内部に蓄積された過去の経験や個性が使われ、処理された結果は経験や個性をさらに更新蓄積する。この系全体を実際の人間について完全に解明するのは不可能であろうが、部分的解明に向けて、以下の四つのアプローチは本質的なものと思われる。

第一は脳機能の計測である[図3(a)参照]。1895年のレントゲンによるX線発見で生体内の透過による影が二次元で見えるようになり、1917年のラドン変換定式化によって無限方向の一次元の影から内部の二次元を再構成できることが数学的に証明された。さらに、1979年にノーベル賞を受賞するCT^(a)の発明でこれが現実の装置になり²⁾、生きた脳の静的な構造の解明が20世紀をかけて進展した。脳の動的な機能の解明は、侵襲性のX線透過に代えて、外部からの磁場制御とこれに対する体内からの磁場変化の観測により、体内の水分子密度の三次元分布を再構成するMRI^(b)(磁気共鳴描画法)が開発される一方、脳表の血液中ヘモグロビン量の変化を近赤外光で直接見る光トポグラフィ^(c)が開発され、今世紀に入ってその技術が大きく進展している。あるいは脳内の神経に沿って伝わる電流を、それがつくる磁場を直接計測し、可

(a) CT

Computed Tomographyの略。コンピュータ断層撮影。主にX線を利用して物体を走査し、内部の様子を画像化する装置。X線を照射しながら対象物の周囲を回転させ、取得したデータをコンピュータで処理し、断面像を再構成する。画像処理技術の発展により、近年では三次元画像も表示できるようになっている。

(b) MRI

Magnetic Resonance Imagingの略。超伝導磁石や永久磁石を使用して発生させた磁気と電波を人体に当て、内部の画像を撮影する装置。静磁場に置かれた人体に特定の周波数の電波をかけると体内の水素原子核が共鳴する現象を利用し、人体組織の状態を微弱な信号として検出して画像を作成する。

(c) 光トポグラフィ

脳内の活動に伴う血流変化の際に発生する酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化を頭皮上から照射した光によって計測する、脳機能の無侵襲画像計測法。

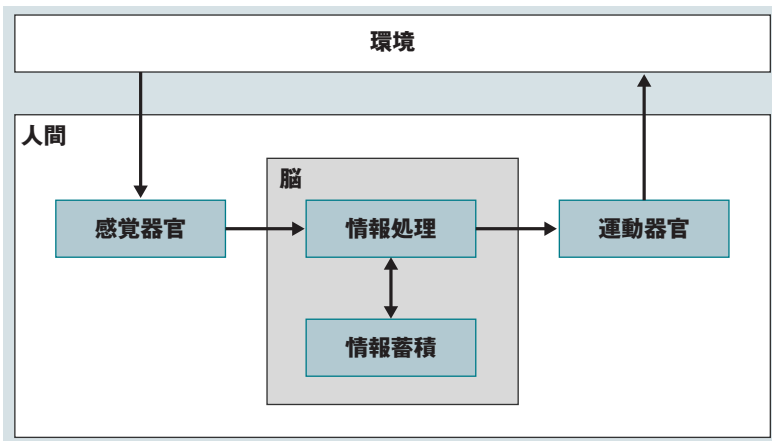


図2 単純化した人間モデル

感覚器官が環境を知覚し、脳がその情報を処理し、運動器官が環境に何らかの作用をする。情報処理には過去の経験や個性などの蓄積情報が使われ、情報処理の結果は新しい経験や個性として新たに蓄積される。

視化する**脳磁図計測**^(d)が開発されている。脳の動的な機能の解明が何らかの形で21世紀の社会予見に寄与すると考えたい。上述のCT, MRI, 光トポグラフィ, 脳磁図計測は日立グループでも早期から研究開発がなされてきた。本特集の第2論文「脳機能の計測」では、日立製作所の研究開発の経緯と今後の可能性を展望する。

第二は人間行動の計測である〔**図3**(b)参照〕。前述の脳の計測が脳機能の直接的計測をめざすのに対して、行動の計測は環境から人間への情報入力に対して人間から環境に作用・出力する行動を外から観測するものである。1960年代に登場し、急速に発展した半導体の集積回路や、その微細化技術応用による**MEMS**^(e)などにより、センサー、コンピュータ、無線をわれわれは意識することなく携帯することが可能になった³⁾。情報ネットワークのインフラストラクチャーは世界の至る場所でのリアルタイムな情報交換を可能とした。携帯したセンサーから無線で世界のネットワークインフラに載せた情報全体が利用可能になれば、全人類の行動に関して大きな知見が得られることは疑いない。

日立グループは半導体、MEMSなど各種センサーと、情報ネットワークや実世界の大量情報についてのデータマイニングなどの研究を精力的に行ってきたが、近年、個々の人の行動からその組織の状態を把握し、組織全体の価値を高めるための方策を導く研究開発を進めている。すでに3万人日の行動データベースとそのデータ処理の知見を蓄積している。本特集の第3論文「人間行動の計測」では、その研究開発の状況と今後の可能性、特に人間そのものの理解への道筋を展望する。

第三は知能の情報処理である〔**図3**(c)参照〕。ここでは、環境を知覚して情報処理する人間の機能をコンピュータによって代行させるアプローチを知能の情報処理と呼ぶものとする。この種の研究は1956年の米国ダートマスでの会議⁴⁾から本格化したとされている。当時人間の能力に近づくことを目標に設定された諸課題の中には、

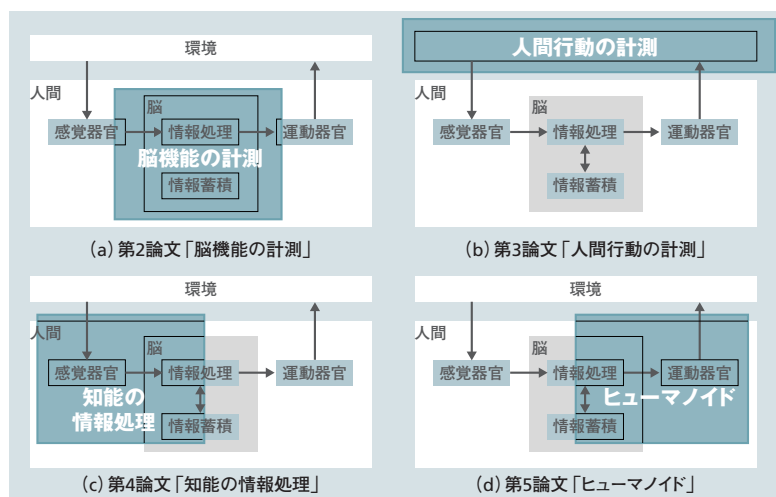


図3 本特集第2～第5論文の基本技術の位置づけ

上段(a),(b)は人間の計測に関する技術,下段(c),(d)は人間の人工的模倣に関する技術である。

今日、ボードゲームや推論など人間を凌駕(りょうが)するものも現れた。視覚の認識機能は製造検査の自動化や自動車運転の安全化、自然言語処理は自動翻訳などで、少なくとも人間実務の支援が可能なレベルに達している。一方、金融商品の知的取引のコンピュータ処理において、コンピュータソフトウェアどうしが予せぬ形で共鳴することにより、経済危機につながりかねない事態を招いた。抽象化や創造力については、コンピュータの機能はまだ限定的であろう。人間とコンピュータの能力の現時点での差分と、これがコンピュータの性能の進展によって埋まるものか否かを考察することは、21世紀に到達する世界の予見に大きな意味を持つはずである。

日立製作所は、コンピュータとそのさまざまな応用システムの開発を過去50年にわたって続ける中で、人間知能のコンピュータ化を推進してきた。本特集の第4論文「知能の情報処理」では、この経験を振り返り今後の可能性を展望する。

第四はヒューマノイドである〔**図3**(d)参照〕。ここでは、情報処理の結果を環境に作用させる機械手段のうち、人間の運動器官を模倣する人間に類似した狭義のロボットをヒューマノイドと呼ぶものとする。古くはレオナルド・ダ・ヴィンチによる鎧(よろい)兵士型ロボットの設計があり⁵⁾、また現在に至るまで文学や映画などの題材に繰り返し利用されるように、人間の運動

(d) 脳磁図計測

脳内の神経細胞の活動(神経電流)に伴って発生するきわめて微小な磁場を頭外で計測する手法。神経電流による磁場を直接計測するため、脳波計測よりも高い時間・空間分解能を有している。

(e) MEMS

Micro-electro Mechanical Systemsの略で、微細な機械的構造物と電気回路を集積したデバイスの総称。加速度・圧力・流量などのセンサー、光スイッチ、インクジェットプリンタのヘッド、DNA(デオキシリボ核酸)チップなどに利用されており、今後も幅広い分野での応用が期待されている。

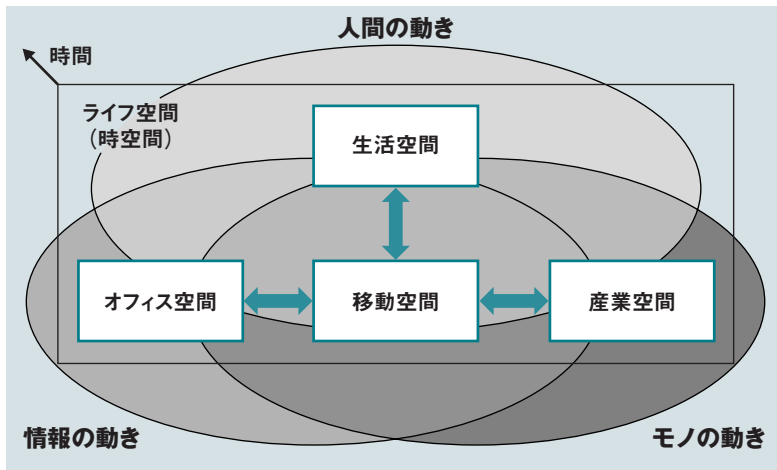


図4 人間社会の単純化したモデル
 移動空間を介して、人間の動きの中心である生活空間、モノの動きの中心としての産業空間、金銭を含めた情報の動きの中心としてのオフィス空間が結合し、時空間であるライフ空間に延びている。

機能を人間型で代行するロボットへの夢は少なくともわが国では普遍のものと思われる。近年、2足歩行制御をはじめとしてその技術は急速に進展しているが、これはコンピュータ処理能力の飛躍的な高まりと、これを用いたリアルタイム制御ソフトウェア技術の進歩によるところが大きい。

日立製作所は、早くから工場のオートメーションや極限環境での作業のニーズを背景として、このようなロボットの研究開発を進めてきた。昨今は「人間共生」を基本コンセプトとする新しいヒューマノイドロボットを発信している。なお筆者自身も知能の情報処理および自律移動ロボットの研究開発に一時期携わっていた⁶⁾。本特集の第5論文「ヒューマノイド」は、ヒューマノイドロボットのこれまでの研究開発経緯を概観し、現状を俯瞰するものである。

社会モデルと応用技術

人間社会の単純化したモデルとして、生活空間、オフィス空間、および産業空間が、移動空間を介してそれぞれ結合した系を考える(図4参照)。ここでは、人間の動きの中心である個人の生活空間に対して、モノの動きの中心としての産業空間と、金銭を含めた情報の動きの中心としてのオフィス空間を分離して考えている。前者の産業空間における人間指向はモノと人間の接点が基軸になるのに対して、後者のオフィス

空間では情報と人間の接点が基軸となり、図2の人間モデルにおいて感覚器官および運動器官の機能が明らかに異なることを考慮した。この社会モデルの四つの空間において、日立グループが営む事業を通じて、人間指向の応用技術を概観する。

第一は移動空間の人間指向である[図5(a)参照]。移動に伴う安全性、移動の快適性の本質技術に加えて、近年、移動中に業務情報や余暇情報を提供する機能が⁷⁾、人間指向の方向になっているように思われる。日立グループは、移動空間のうち、鉄道システム(運行制御および車両製造)、ナビゲーションシステムを含む自動車装備・部品、昇降機(エレベーター、エスカレーター、動く歩道)、建設機械、防衛システム、モノレールなどで事業を展開している。ここでは、このような事業分野共通の基本モデルとして、移動体に装着したセンサーにより、周囲環境や、環境に対する移動体の運動、移動体に乗った人の行動などを検知し、事前知識などによって情報処理を行い、結果をリアルタイムに運転の制御に反映させ、あるいは移動体搭乗者に提供するものを考える。第6論文の「移動空間の人間指向」では、このモデルに従って、上述した人間指向の基軸に向かうための応用技術の現状を俯瞰する。

第二は生活空間の人間指向である[図5(b)参照]。生活の快適性、生活コストの低減に加え、近年は健康・安全性の確保が、人間指向の方向になっているように思われる。日立グループは、生活空間のうち、テレビ、カメラ、それら情報蓄積のAV(Audio Visual)機器や、冷蔵庫、空調、洗濯機、掃除機、調理機器などの電化製品、および生活場面での情報関連システムやサービスの事業に取り組んでいる。ここでは、このような事業分野共通のモデルとして、アンビエント情報社会のコンセプトを提唱している。第7論文の「生活空間の人間指向」では、このモデルに従って、上述した人間指向の基軸に向かうための応用技術の現状を俯瞰する。

第三はオフィス空間の人間指向である

〔図5 (c) 参照〕。従来の基本課題であるオフィスIT機器の処理性能向上によるレスポンス改善などに加え、近年、情報漏洩（えい）や個人情報保護などの社会ニーズを背景に情報セキュリティ機能の高度化の流れが強まり、さらにオフィスワーカーの知的活動を支援するための情報収集と、そのデータマイニング機能の高度化が今後の人間指向の主流になっていくものと思われる。日立グループは、オフィス空間のうち、情報ストレージ〔RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks), HDD (Hard Disk Drive)〕、サーバ、ネットワーク、情報システム、サービス、データセンターなどで事業を行っている。ここではこのような事業分野共通の根幹モデルとして、知識のサービス化を基本とする **KaaS^(f)** コンセプトを提唱している。第8論文の「オフィス空間の人間指向」では、このコンセプトに沿って、上述した人間指向の基軸に向かうための応用技術の現状を俯瞰する。

第四は産業空間の人間指向である〔図5 (d) 参照〕。設計から製造、流通、保守に至る産業の過程の中で、モノと人間の接点に焦点を当てて、人間指向の流れを俯瞰する。日立グループは、みずからが特定分野の最終製品の生産に携わるとともに、さまざまな分野の生産活動のための設備やプラントの建設を行っている。第9論文の「産業空間の人間指向」では、このモデルに従って、上述した人間指向の基軸に向かうための応用技術の現状を俯瞰する。

以上の四つの空間を含み、さらに時空間にも拡張した人生全体を、図4に示すようにここではライフ空間と呼ぶことにする。

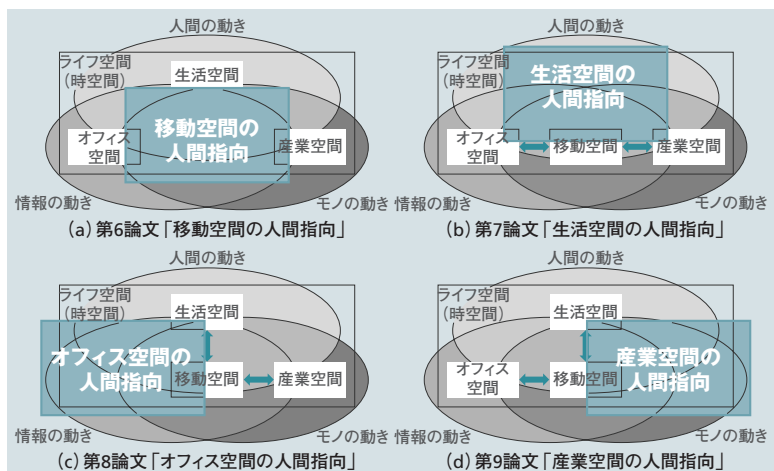


図5 本特集第6～第9論文の応用技術の位置づけ
移動空間、生活空間、オフィス空間、産業空間のそれぞれで、人間指向がどのように起こっているかの応用技術を俯瞰する。

最終、第10論文「ライフ空間の人間指向」では、以上述べた人間指向基本技術4論文、応用技術4論文を貫く時間概念として「健康」という軸を定め、予防、診断、治療の三つの具体事例から、人間指向がめざす方向の帰納に努める。

(f) KaaS

Knowledge as a Serviceの略。実業務から取得されるログデータやセンサーデータなどの大量のデータを整理・分析して高付加価値なナレッジ（知識）に変換し、顧客に提供・還元するサービスモデル。

人間指向の研究開発を俯瞰して

以上、人間を指向した研究開発について、基本技術、応用技術それぞれに全体を貫くモデルを定義し、その本質要素の抽出を試みた。基本技術については、個の人間をモデルに据え、抽出した本質要素について、歴史的俯瞰に基づいて今後を展望した。応用技術については、人間社会全体をモデルに据え、抽出した本質要素について、日立グループの具体事業を踏まえて分野横断の俯瞰を行い、今後を展望した。最後に以上を包含し、さらに時空間にも拡張したライフ空間により、全体の方向性にアプローチした。

参考文献

- 1) 馬場：日立評論發刊に就いて所感、日立評論第1号（1918.1）
- 2) G. N. Hounsfield：Computed medical imaging, Nobel Lecture（1979.12）
- 3) ACM Transactions on Sensor Networks（2005）
- 4) J.McCarthy, et al.：A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence（1955）
- 5) M.Taddei：Leonardo da Vinci's robots（2007）
- 6) H.Takeda, et al.：Planning the motions of a mobile robot in a sensory uncertainty field, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.16, No.10, pp.1002-1017（1994）

執筆者紹介



武田 晴夫

1980年日立製作所入社、研究開発本部 研究戦略統括センター長などを経て、現在、基礎研究所所長。専門は数理工学、情報科学、映像・画像処理、技術経営など工学博士、東京大学客員教授、IEEE会員