

情報機器の運動制御から ICTと融合したセンシング技術まで(*)

2026年2月25日

東京大学名誉教授
山田一郎

(*)退職記念祝賀会配布資料(2015.3.10を改版)

主な経歴

■学歴

- 1968年4月 東京大学・理科一類入学
- 1972年4月 同工学部・機械工学科卒業
- 1974年3月 同大学院工学系研究科・機械工学専攻(修士課程)修了

■職歴

日本電信電話株式会社(NTT)(1974年4月～2002年6月)

- 1974年4月 日本電信電話公社、武蔵野電気通信研究所に入社
- 1993年1月 総合企画本部・技術調査部、担当部長(技術支援分門長)
- 1995年2月 NTT境界領域研究所／NTT入出力研究所／NTT通信エネルギー研究所、エネルギー研究部長
- 2000年7月 NTT生活環境研究所長

東京大学(2002年7月～2015年3月)

- 2002年7月 大学院工学系研究科(産業機械工学、機械工学)、教授
- 2009年5月～2011年3月 副学長(環境安全担当)兼務
- 2012年4月 大学院新領域創成科学研究科(人間環境学)、教授

新電元工業 社外取締役(2014年6月～2022年6月)

■学位

- 1985年9月 工学博士(東京大学)、「位置決め制御の高速・高精度化に関する研究」

主な研究開発

(日本電信電話株式会社(NTT):1974年4月～2002年6月)

- 日本電信電話公社(NTT)武蔵野電気通信研究所に入社し、主として、情報通信機器・システムの高性能化に関する研究開発に従事した。ついで、通信用エネルギー技術、ITと環境(環境情報ネットワーク)の研究開発を推進した。
 - (1)情報通信機器・システムの高性能化
 - (a)情報機器の運動制御
 - (b)高速・超大容量光記憶システム(光MSS)
 - (2)通信用エネルギー技術
 - (3)ITと環境(環境情報ネットワーク)

(東京大学:2002年7月～2015年3月)

- 東京大学に教授として赴任し、生活環境IT／人間環境情報学(ITと融合したセンシング技術)の研究と教育、IT農業(IT農業プロジェクト)の研究開発を行った。
 - (4)生活環境IT／人間環境情報学
 - (a)ウェアラブル生体環境モニタリング
 - (b)雰囲気コミュニケーション
 - (5)IT農業(IT農業プロジェクト)

(新電元工業:2014年6月～2022年6月)

- 社外取締役として、電子デバイス事業(パワー半導体)、電装事業(二輪・四輪用の電装製品など)、エネルギー事業(通信用電源など)の研究開発戦略・方針にかかわる助言・提言を行った。

(1) 情報通信機器・システムの高性能化

- NTT研究所においては、情報通信機器・システムの高性能化に関する研究開発に従事してきた。主なものは、(a)情報機器の運動制御の研究、(b)高速・超大容量光記憶システム(光MSS)の研究開発である。

(情報機器の運動制御)

- 位置決め技術は、光ディスク、磁気ディスクやプリンタなどの情報機器をはじめとする多くの機械装置に共通の基礎技術であり、その高速・高精度化が切望されている。このような背景から、サーボモータを用いた位置決め制御について、高速・高精度化における種々の問題点を理論的、実験的に検討し、高速・高精度な位置決め制御系の設計法を明らかにした。
- 負荷系の振動特性を考慮したサーボモータ系の位置決め制御においては、最適レギュレータを用いた高速位置決め制御法を提案し、これによって位置決め時間が固有振動周期と同程度の高速位置決めが実現できることを明らかにした。また、比較的広い範囲のパラメータ変動に対しても残留振動を小さくできる複数設定値系の設計法を明らかにするとともに⁽¹⁾、高速位置決めの大きな障害要因である固体摩擦を推定し、これを補償する外乱オブザーバの設計法を明らかにした⁽²⁾。

(高速・超大容量光記憶システム(光MSS))

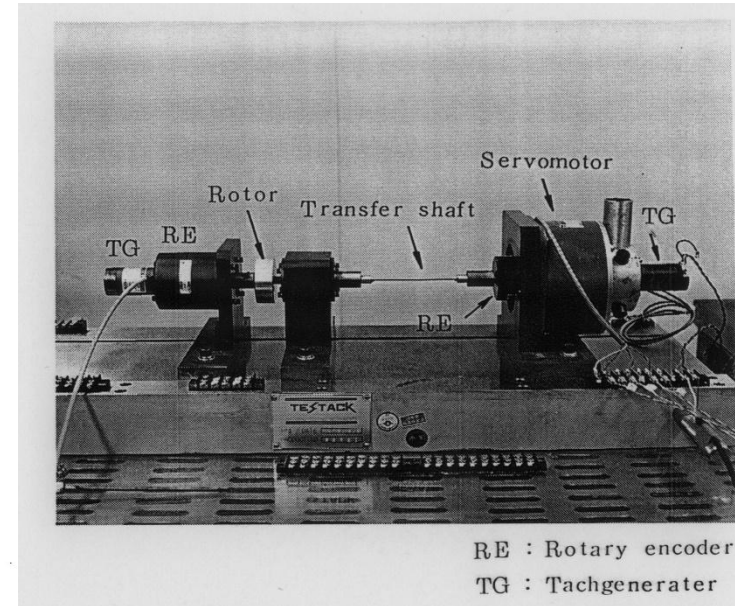
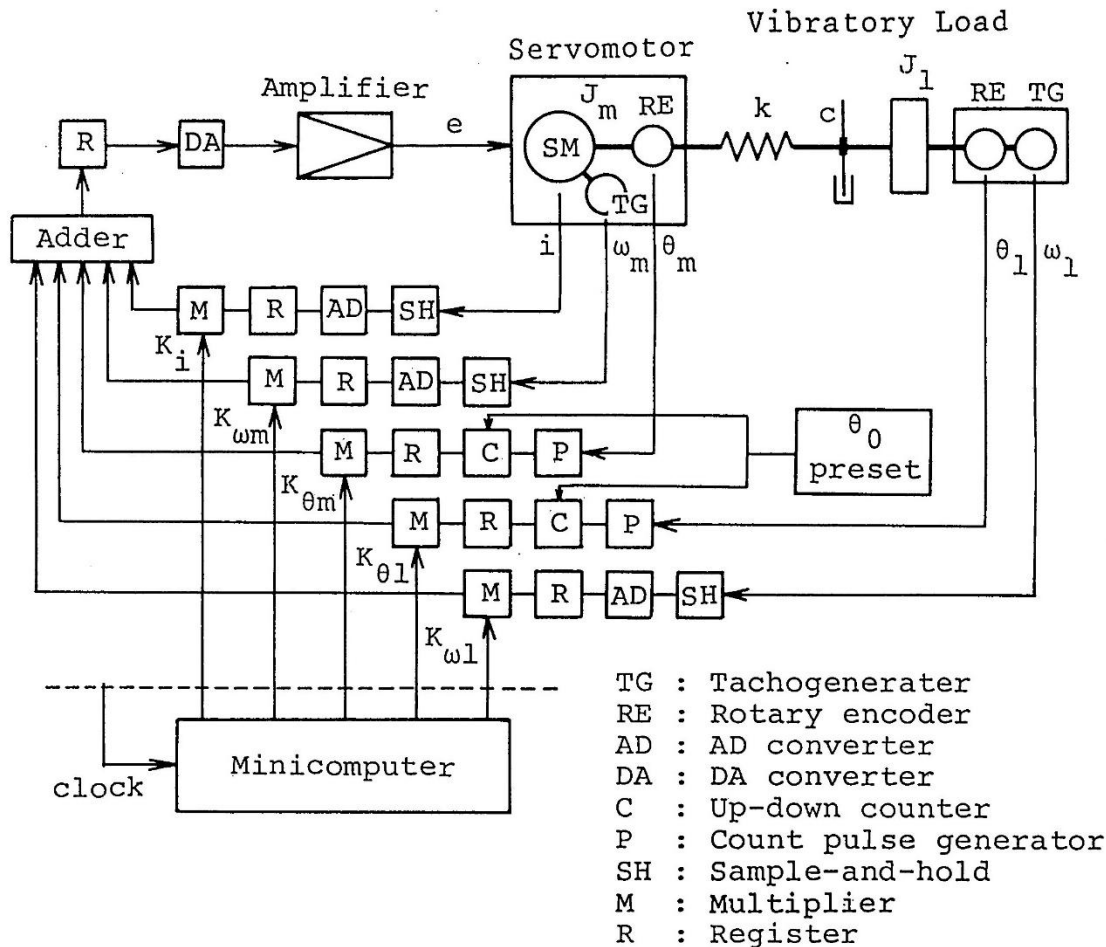
- 光MSSの開発においては、書き込み速度を10倍に向上した光磁気ディスクドライブと光ディスク媒体の自動ハンドリング機構を開発した⁽³⁾。最大1TBの記憶容量をもつ画期的な光記憶システムとして高く評価され、1992(平成4)年度・日本機械学会賞を受賞した。その後、この光MSSは数10GBクラスの小型光MSSを含めて実用に供され、IT社会の実現に少なからず貢献した。

(1) I. Yamada, M. Nakagawa (Trans. of ASME, Journal of VASRD, 1985) [論文1-5],

(2) 山田 (計測自動制御学会論文集, 1988) [論文1-7],

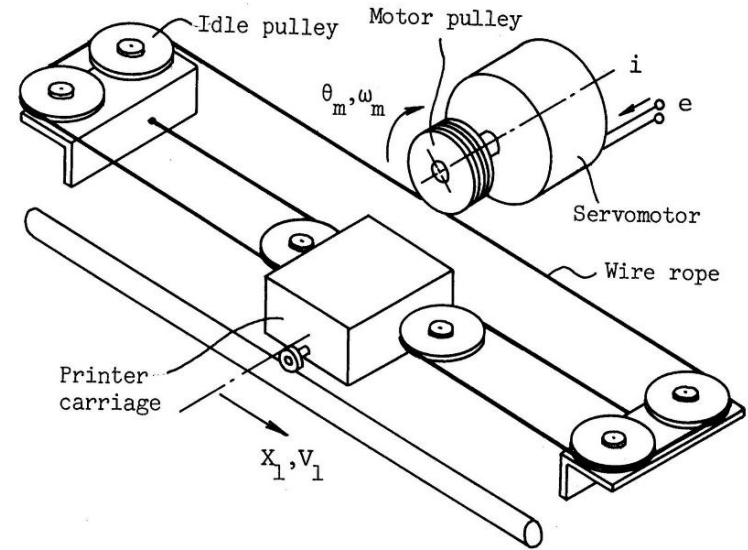
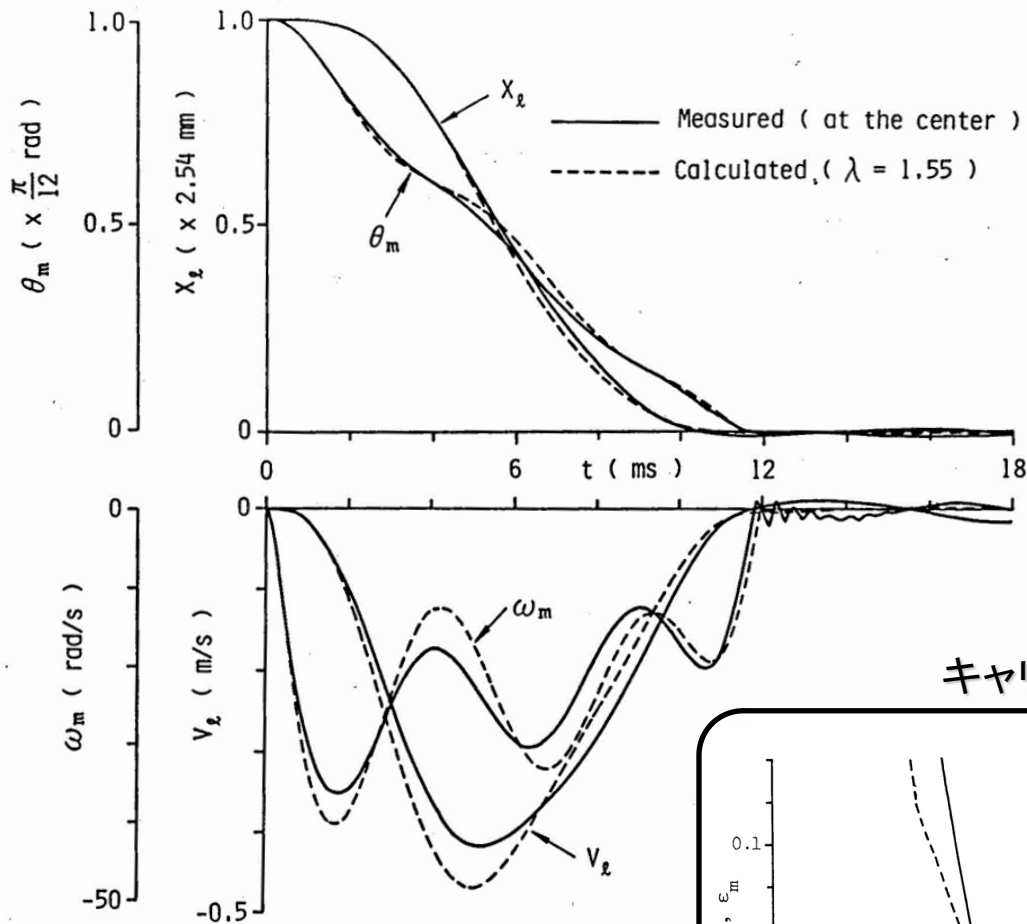
(3) I. Yamada *et al.* (IEEE Trans. on Magnetics, 1993) [論文1-18]

サーボモータ系の高速位置決め制御



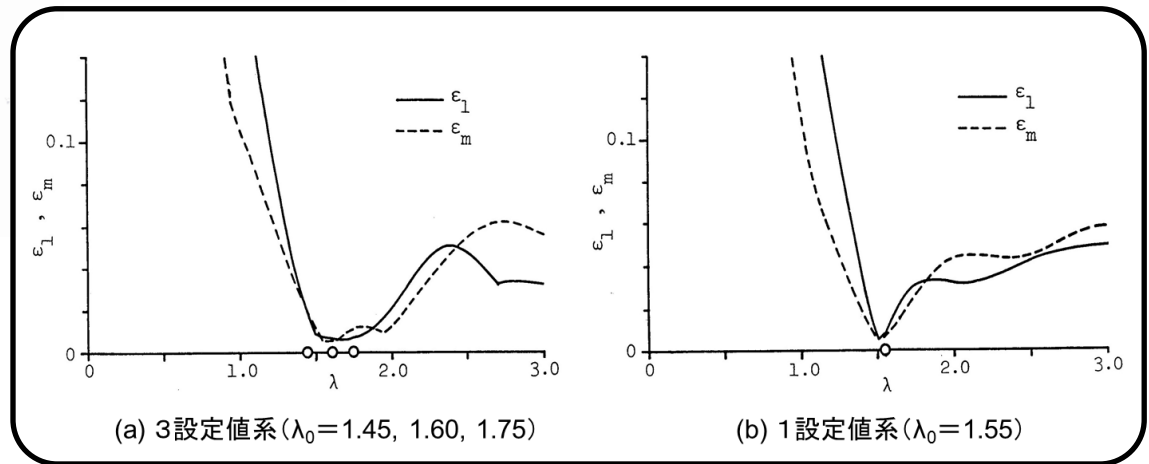
負荷系の振動特性を模擬した
サーボモータ系の実験装置

プリンタ・キャリッジ送り機構の高速位置決め制御

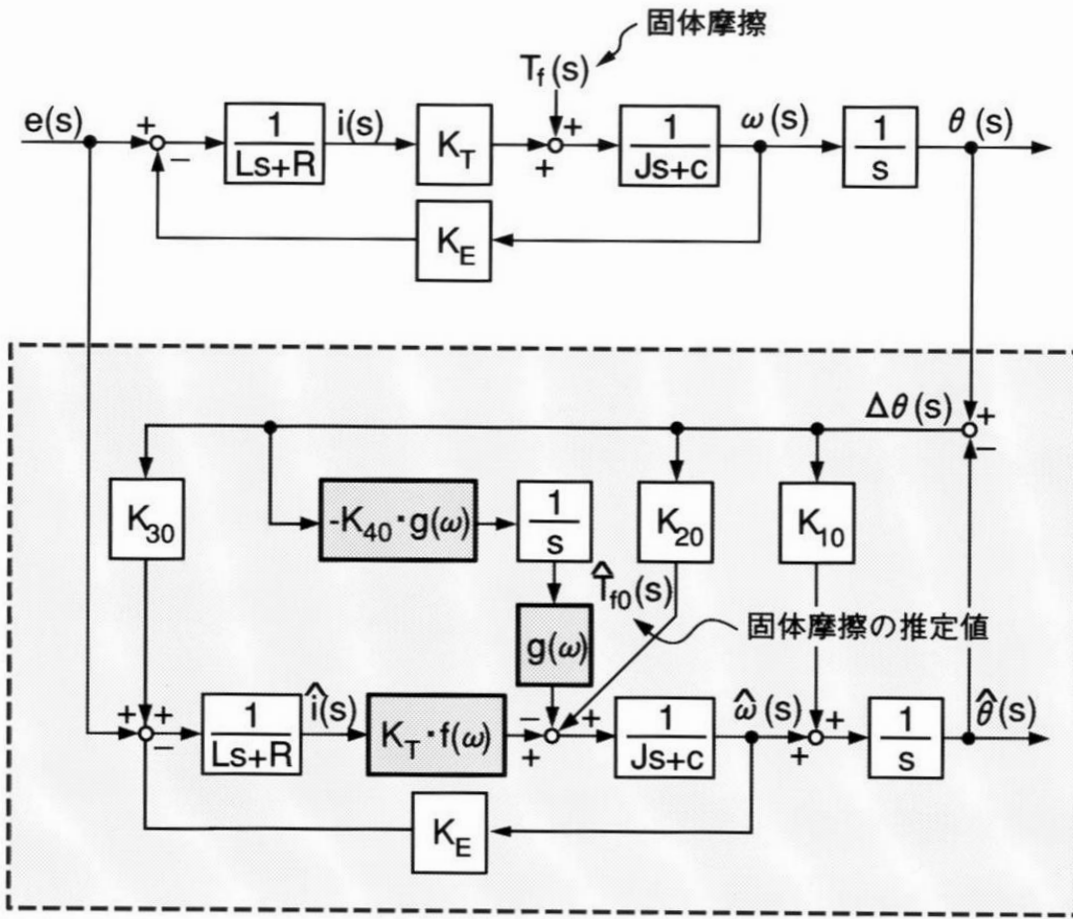


キャリッジ送り機構の残留振動特性

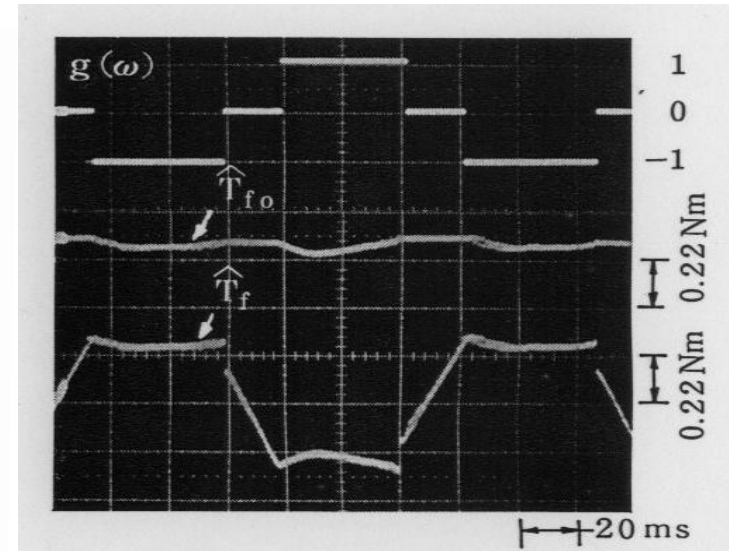
3設定値系による位置決め制御
($T=12\text{ms}$)



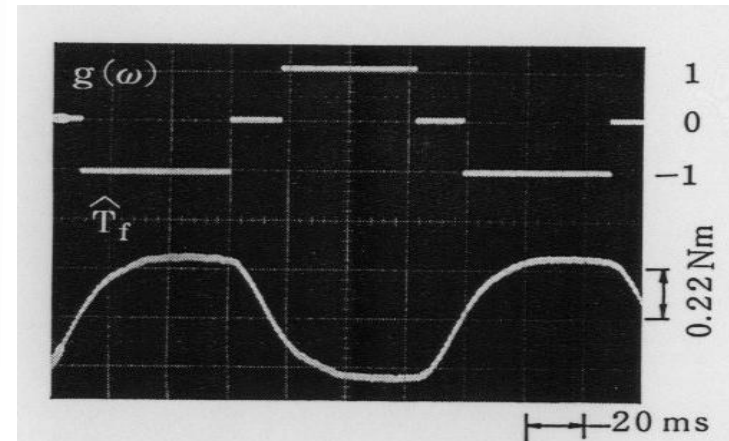
固体摩擦を推定する適応外乱オブザーバ



適応外乱オブザーバのブロック図

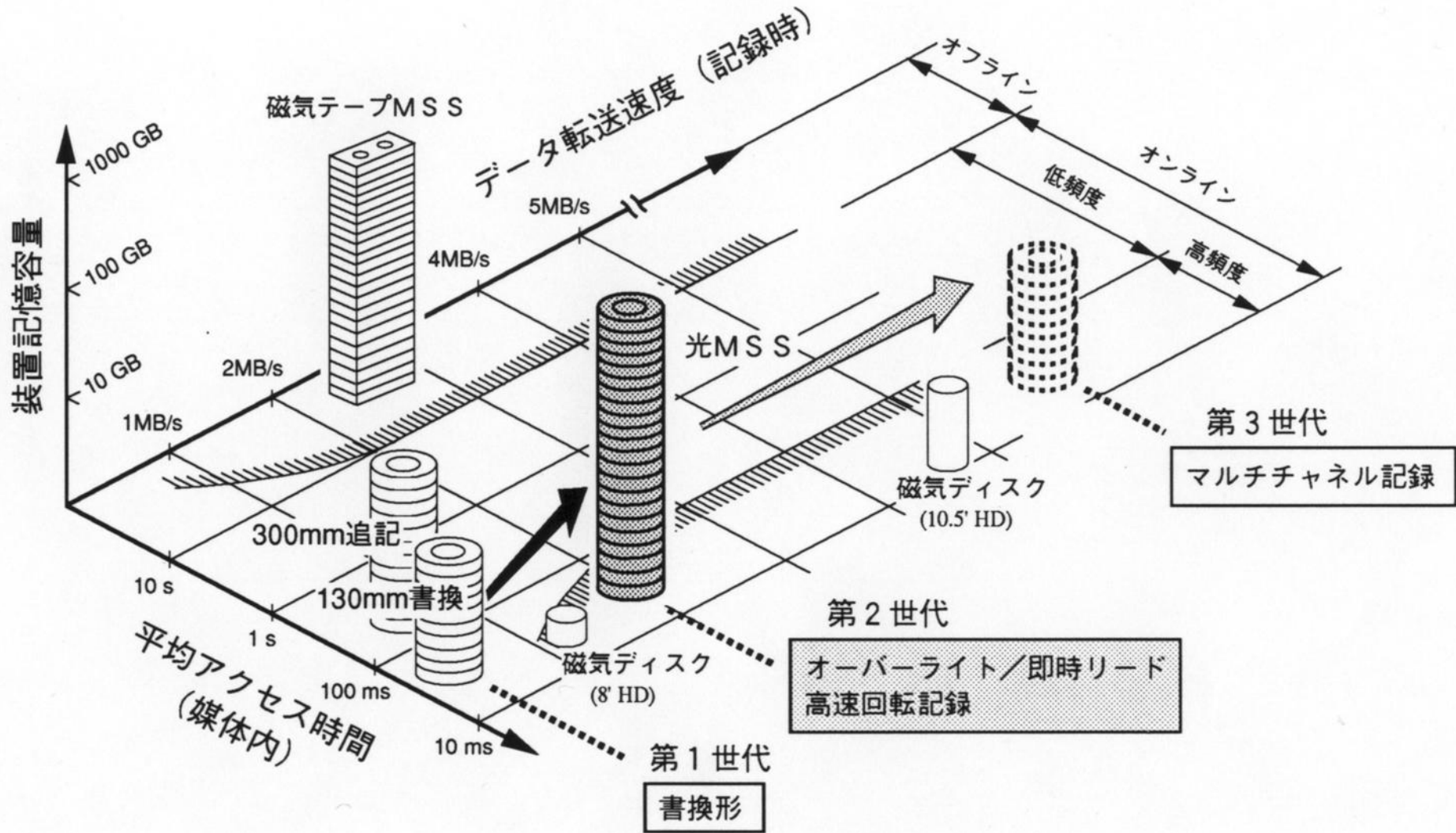


適応外乱オブザーバ

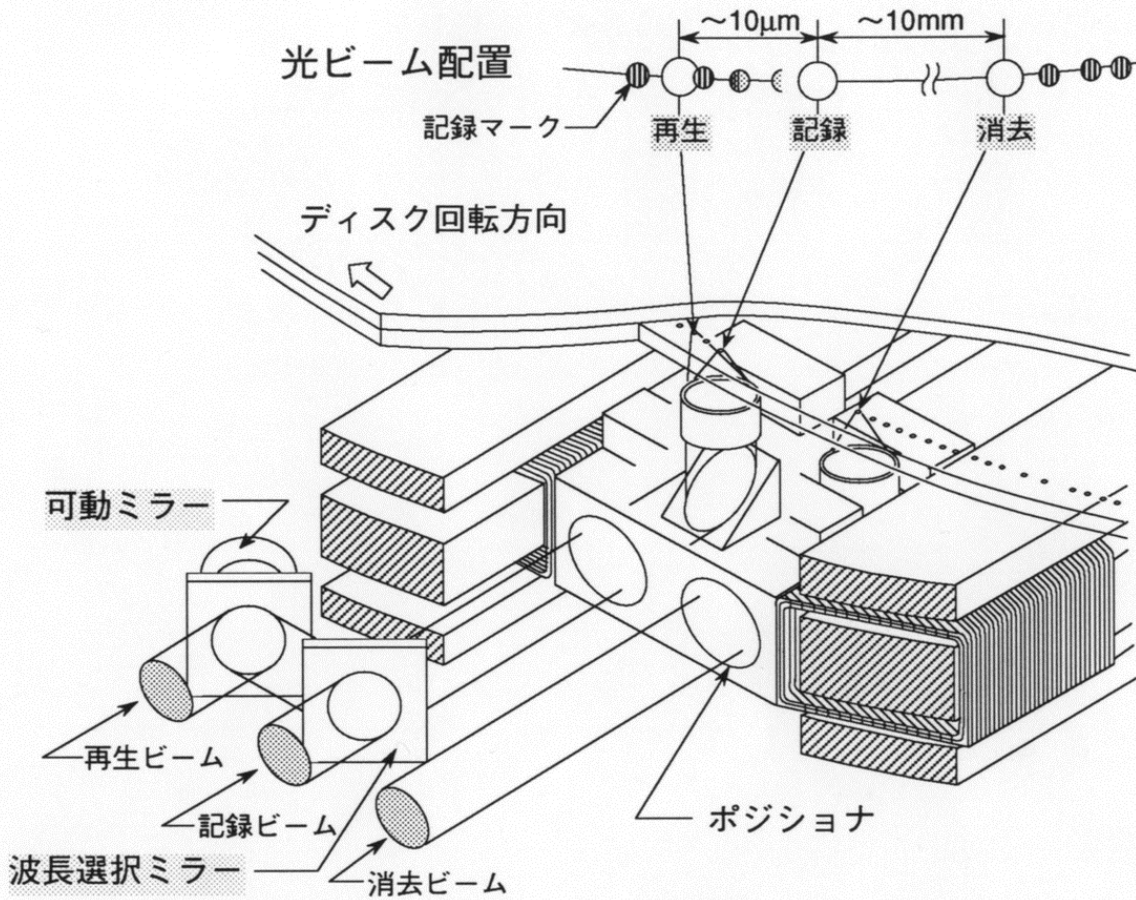


定常外乱オブザーバ

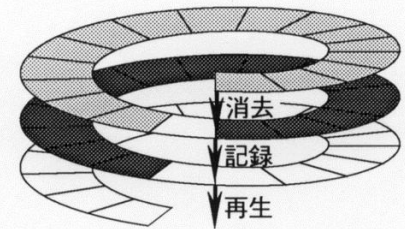
高速・超大容量光記憶システム(光MSS) の性能と適用領域



3ビーム光磁気ディスクドライブの構成

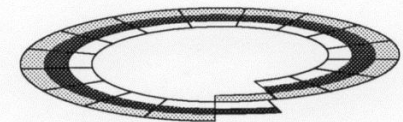


[第1世代ドライブ]



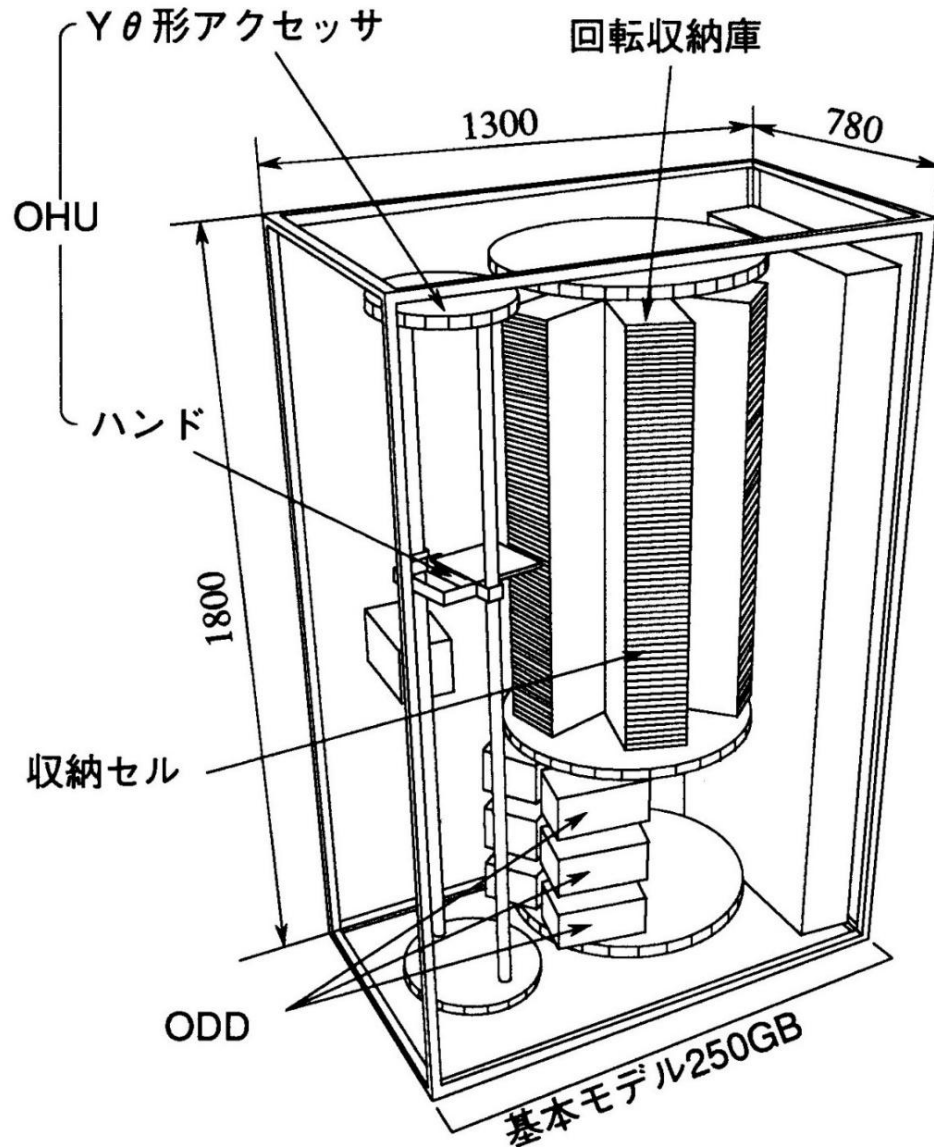
書き込み速度を7~9倍に向上
・オーバーライト/即時リード (3倍)
・高速回転 (2.3~3倍)

[3ビームドライブ]



書き込みシーケンス

光MSSのライブラリ構造



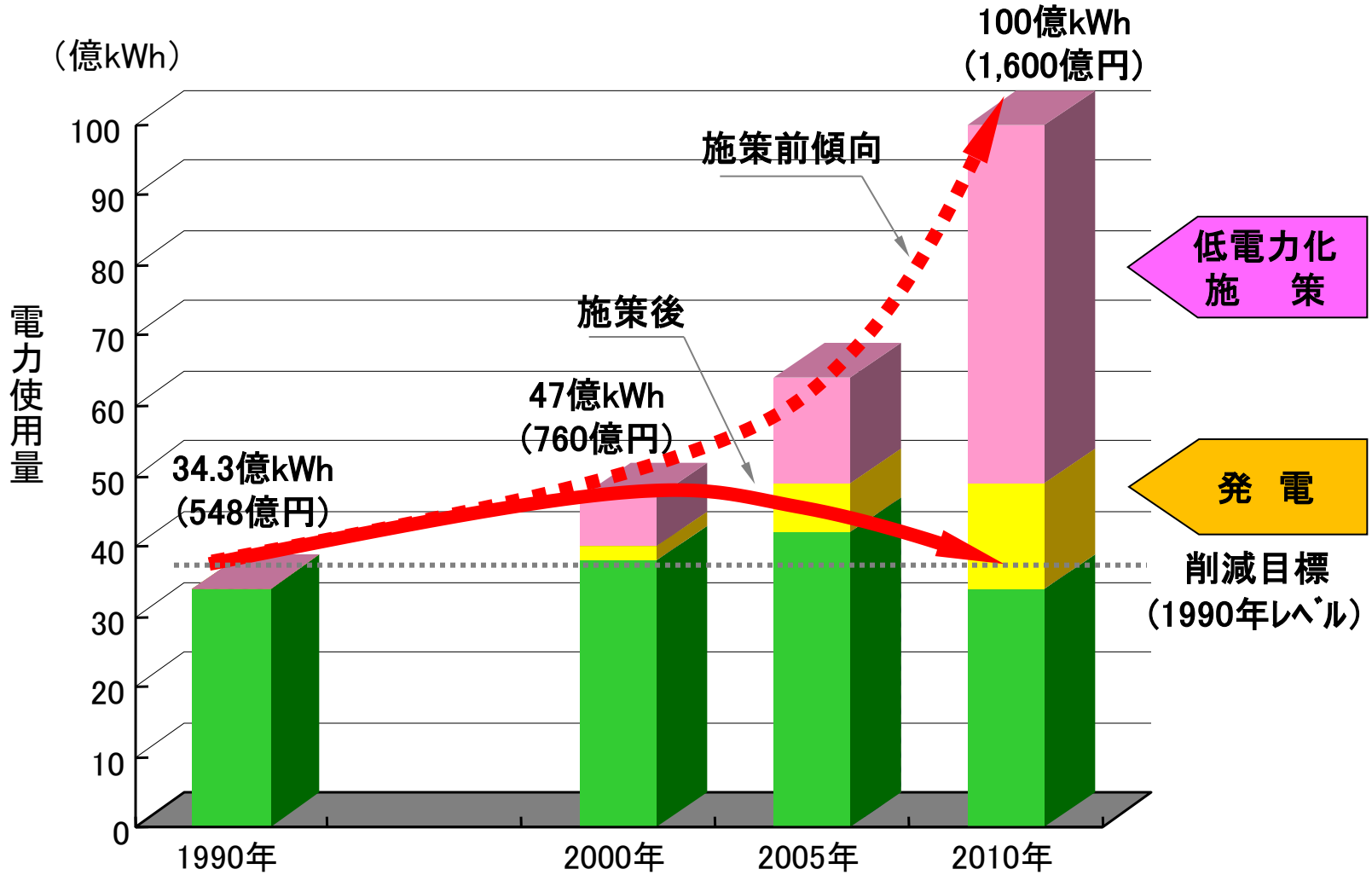
光MSS(500GBモデル)の概観

(2) 通信用エネルギー技術

- IT社会の進展に伴って情報通信に必要とされるエネルギー消費量が大幅に増加することが予測されており、地球環境保護の観点からも、エネルギー消費の削減と並んでクリーン発電システムの実現が望まれている。このような背景から、エネルギーの消費だけでなく、発生から変換・伝達、蓄積に至るエネルギー技術の研究開発を推進した⁽¹⁾。
- エネルギーの発生に関しては、高信頼な通信用燃料電池システムとして、災害などで主燃料(都市ガス)が停止しても予備燃料(LPG)に切替えて発電を継続するマルチ燃料型燃料電池システムを開発した。また、エネルギーの蓄積に関しては、エネルギーの有効利用を図るために、バックアップとピークカットの両方に使用できる大型二次電池の開発を進めるとともに、将来に向けて、多価イオン電池などの新型電池の研究を開始した。このような研究開発からエンジニアリングに至るNTTグループのエネルギー削減の取組みに対して、1999(平成11)年度・通商産業省資源エネルギー庁長官賞を受賞した。

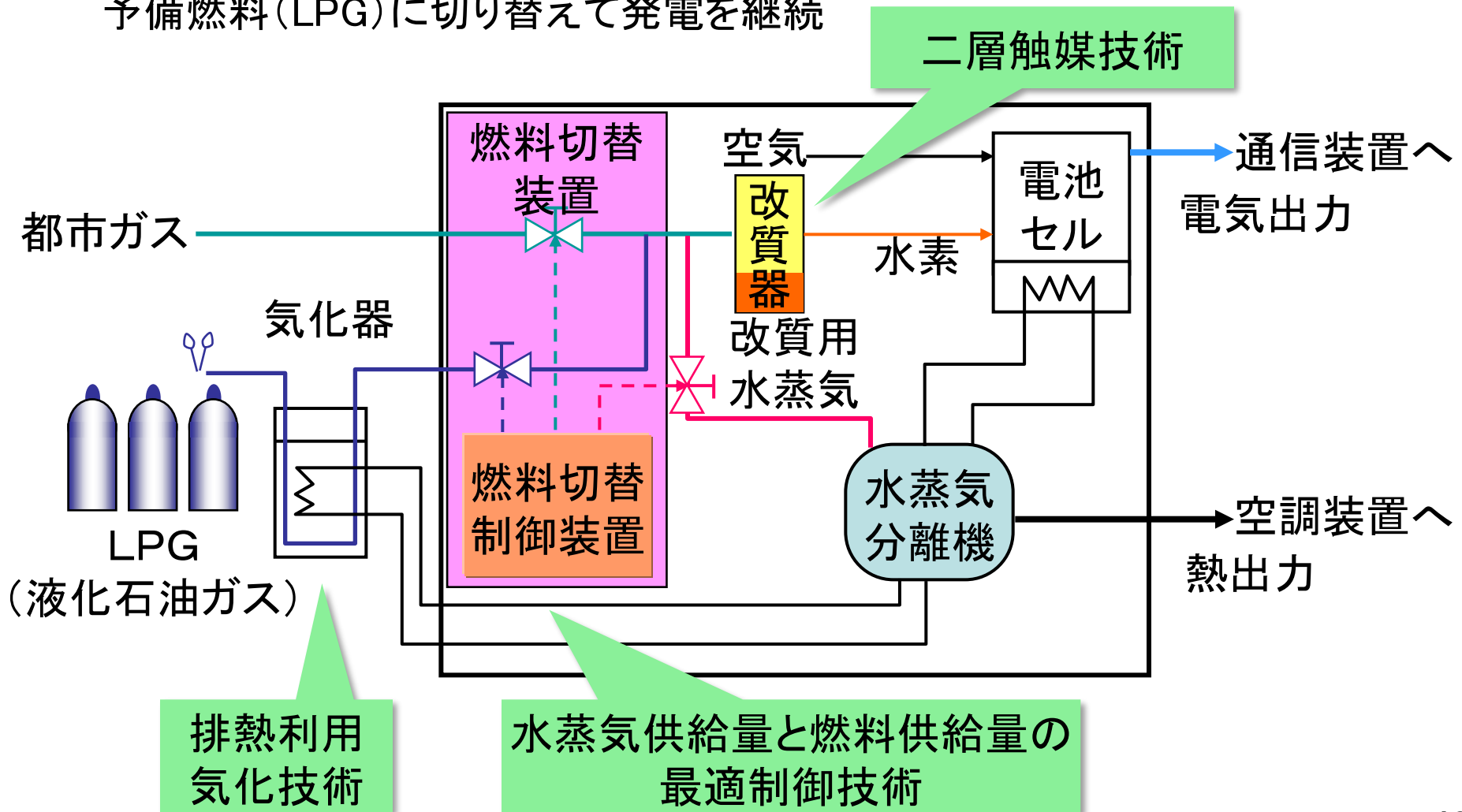
(1) 山田、白羽(NTT R&D, 1998) [解説2-10]

2010年に向けた電力エネルギー削減ビジョン ～トータルパワー改革(TPR)運動～



マルチ燃料型燃料電池システム

- 地震等の災害で都市ガスが途絶えても、予備燃料(LPG)に切り替えて発電を継続

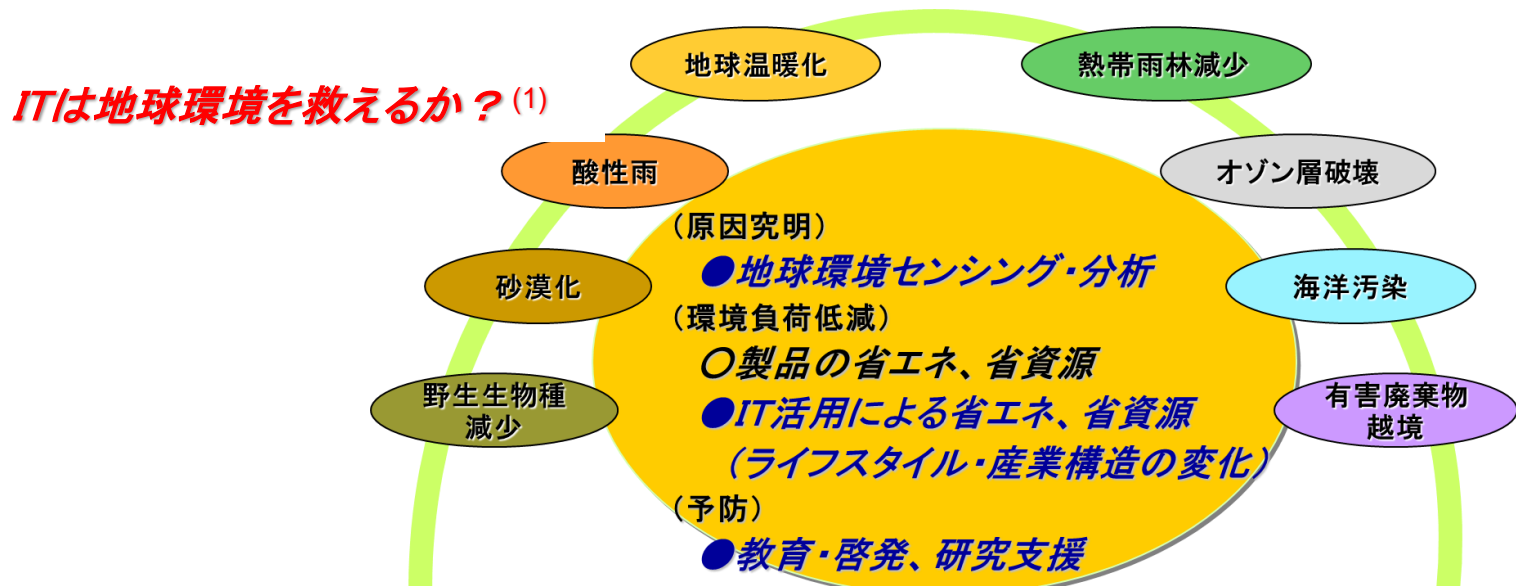


(3) ITと環境(環境情報ネットワーク)

- ITを環境問題をはじめとする人類危急の課題の解決にいかん活用していくかが問われている。このような観点から、ITを地球環境保護に活用することを目的として、岩手県・国連大学・NTTの三者による環境情報ネットワーク共同プロジェクトを推進するとともに、基盤技術として、大気環境モニタリングシステム、花粉予報システムなどの研究開発を行った。

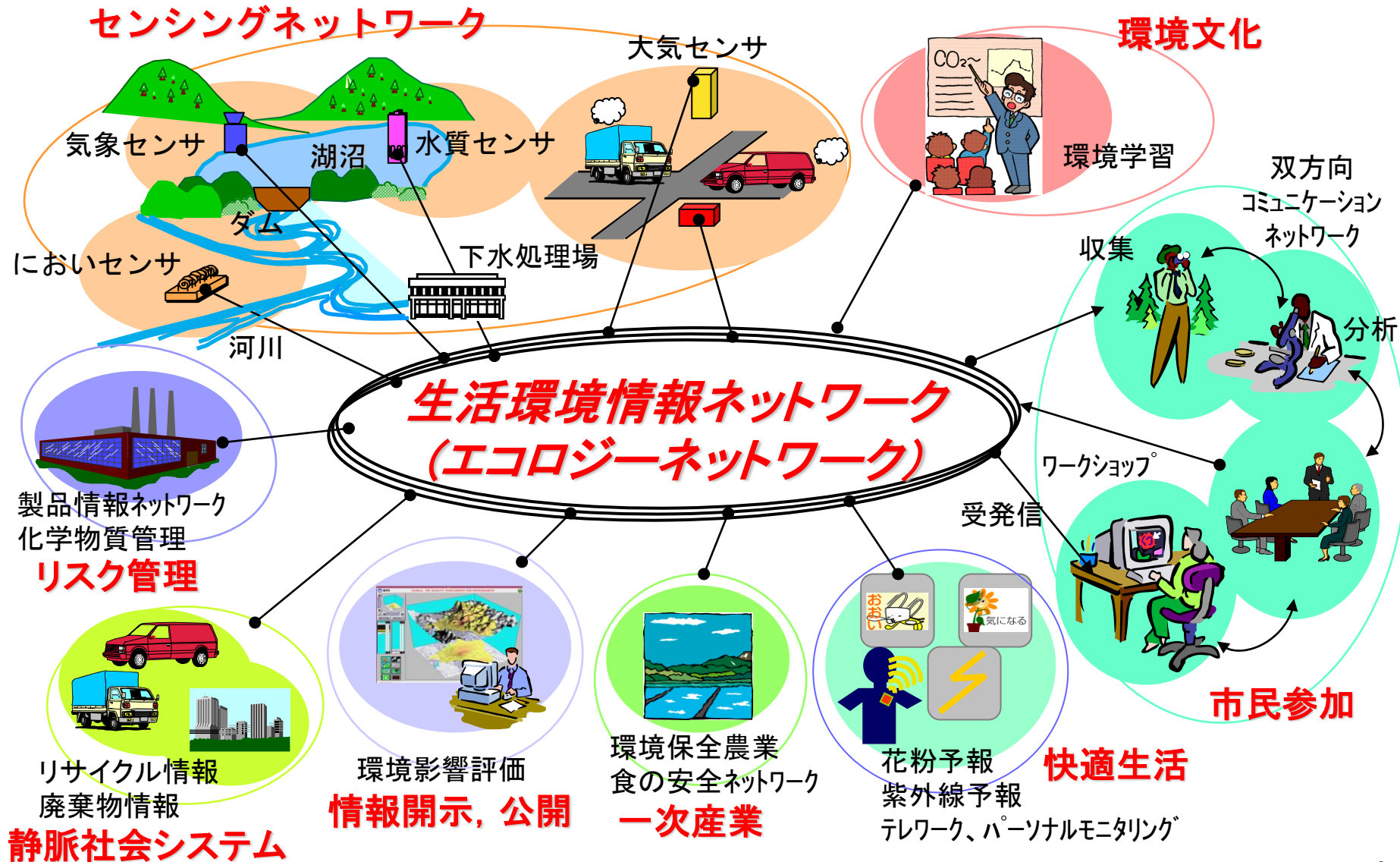
(IWATE・UNU・NTT環境情報ネットワーク共同プロジェクト)

- 岩手県と国連大学高等研究所、NTTの3者は、各々が持っている技術や情報、ノウハウを持ち寄って、岩手県をフィールドとする環境情報ネットワークの共同プロジェクトを、1998年9月に発足した。このプロジェクトでは、環境情報の共有・公開によって、地球環境の保全と創造に望ましい環境行政、環境教育、ゼロエMISSIONの推進を目的とした。これによって、①環境モニタリング、②北上川流域調査、③環境教育・学習、④ゼロエMISSION、⑤環境情報システムの構築等を実施した。



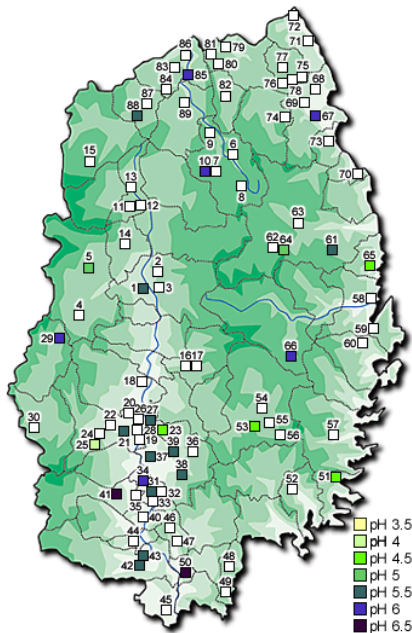
(1) 山田 (電気学会誌, 2003) [解説3-12]

生活環境情報ネットワーク



環境教育の実践－身近な環境調査

いわてけん さんせいいう ちょうさ 岩手県酸性雨調査

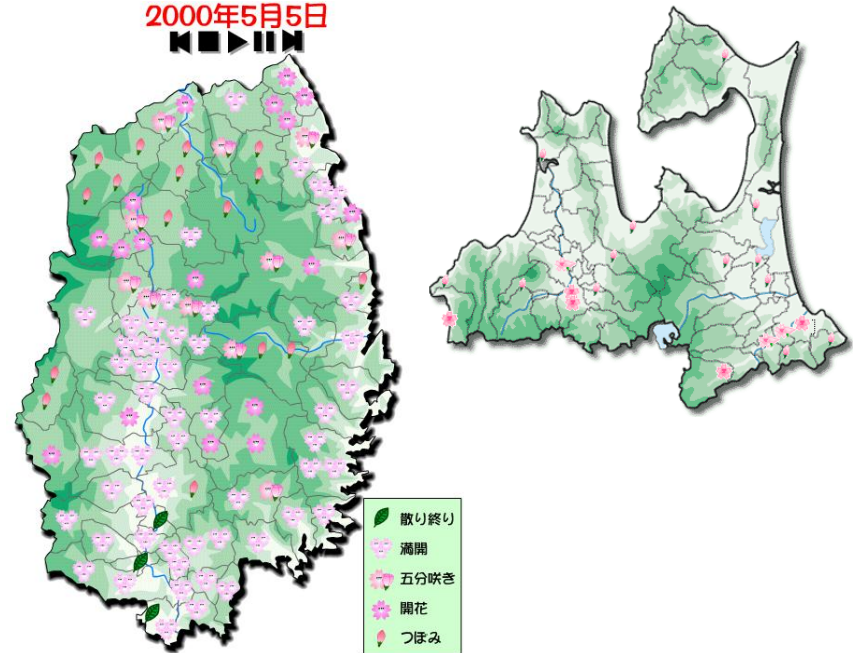


学校識別 No.	学校名	降りはじめ	降りおわり	pH	降水量
001	市立大宮中学校	1998/11/9 17:00	1998/11/10 7:00	pH 6	5mm
		1998/11/10 7:25	1998/11/10 16:30	pH 5	18mm
		1998/11/11 3:00	1998/11/11 15:05	pH 6	4mm
002	市立半内中学校				
003	県立盛岡商業高校				
004	市立大村小学校				
005	町立上長山小学校	1998/11/8 23:30	1998/11/9 14:30	pH 5	20mm
		1998/11/9 16:00	1998/11/10 5:00	pH 6	5mm
		1998/11/11 14:00	1998/11/12 12:00	pH 4.5	11mm
006	町立盛巻小学校江州川分校				
007	町立小屋瀬小学校				
008	町立五日市小学校				
009	町立田野小学校				
010	町立小屋瀬中学校	1998/11/9 13:10	1998/11/10 7:55	pH 6	2mm
		1998/11/11 7:55	1998/11/12 10:25	pH 5.5	1mm

みんなであらう ふるさと桜前線

青森県開花状況 --- 青森県 ---
 ← 2001年4月19日 →

2000年5月5日



(4) 生活環境IT／人間環境情報学 ～ITと融合したセンシング技術～

- 人類危急の課題であるグローバルな環境問題の解決や生活環境の革新に向けて、ITと融合したセンシング技術をいかに活用するかが重要である。このような観点から、生活環境IT／人間環境情報学の研究開発では、新しい検出原理のセンサデバイスの研究とともに、革新的なセンシングシステムの開発を進め、安心・安全で快適な生活環境の実現をめざしてきた。

(ウェアラブル生体環境モニタリング)

- CREST(研究領域「先進的統合センシング」)の研究課題「生体・環境情報処理基盤の開発とメタボリック症候群対策への応用」では、日常生活における生体・環境情報を収集し、客観的な視点から生活習慣を確認できる情報処理基盤(人間の日常生活を科学するプラットフォーム)の開発を進めた。
- この中で、血圧センシング、食習慣センシング、ストレスセンシングなどについて、ウェアラブルセンサとセンサ情報から高次情報を抽出するための分析技術の研究開発を進めてきた⁽¹⁾。特に、ウェアラブルな血圧センシングでは、脈波伝播速度(PWV)法に基づく新たな血圧算出式を導出し、日常生活下でも測定誤差10mmHg以下の連続的な血圧測定が実現できる可能性を確認した⁽²⁾。さらに、ウェアラブル血圧センサによる連続血圧測定によって、高齢者に特有な相対的脳虚血などの「超」短期血圧変動が把握できることを明らかにし⁽³⁾、医療現場への応用展開をめざした。

(雰囲気コミュニケーション)

- 人の感情や周囲環境など、人が無意識に発信している雰囲気情報に着目して、このような雰囲気情報を伝達できるコミュニケーション端末や心理・感情分析手法の研究を行っている。新しい雰囲気コミュニケーション端末を提案するとともに、実証実験によってその有効性を示した⁽⁴⁾。

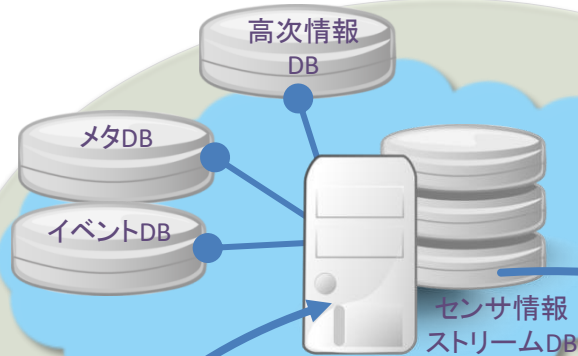
(1) I. Yamada *et al.* (2012 Symposia on VLSI Technology, 2012) [国際会議3-44],

(2) G. Lopez *et al.* (J. of AMDSM, 2010) [論文3-15], (3) 飯島 *et al.* (人工知能学会論文誌, 2012) [論文3-28],

(4) M. Shuzo, I. Yamada (Emotional Engineering, 2011) [国際会議3-11]

ウェアラブル生体環境モニタリング

「蓄積・共有技術」 (ヘルスケアデータベース技術)

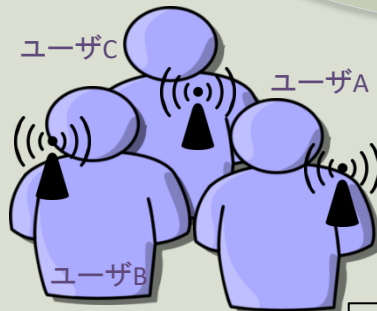


- 長時間にわたる連続的な生体情報を、セキュリティを確保しつつ、高速に取り扱うデータベース
- 様々な粒度での可視化のために、容易なメタ情報の付与
- プライバシーを確保しつつ、様々な関係者とのヘルスケア情報の共有

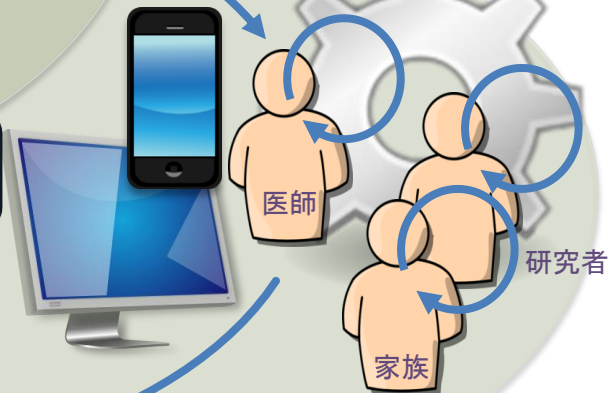
「情報提示技術」

- 健康管理の継続性と効果の向上のために、ユーザの多様性に合った情報提示

「ウェアラブル生体センシング技術」



ウェアラブル生体・環境 情報処理基盤



行動識別
センサ

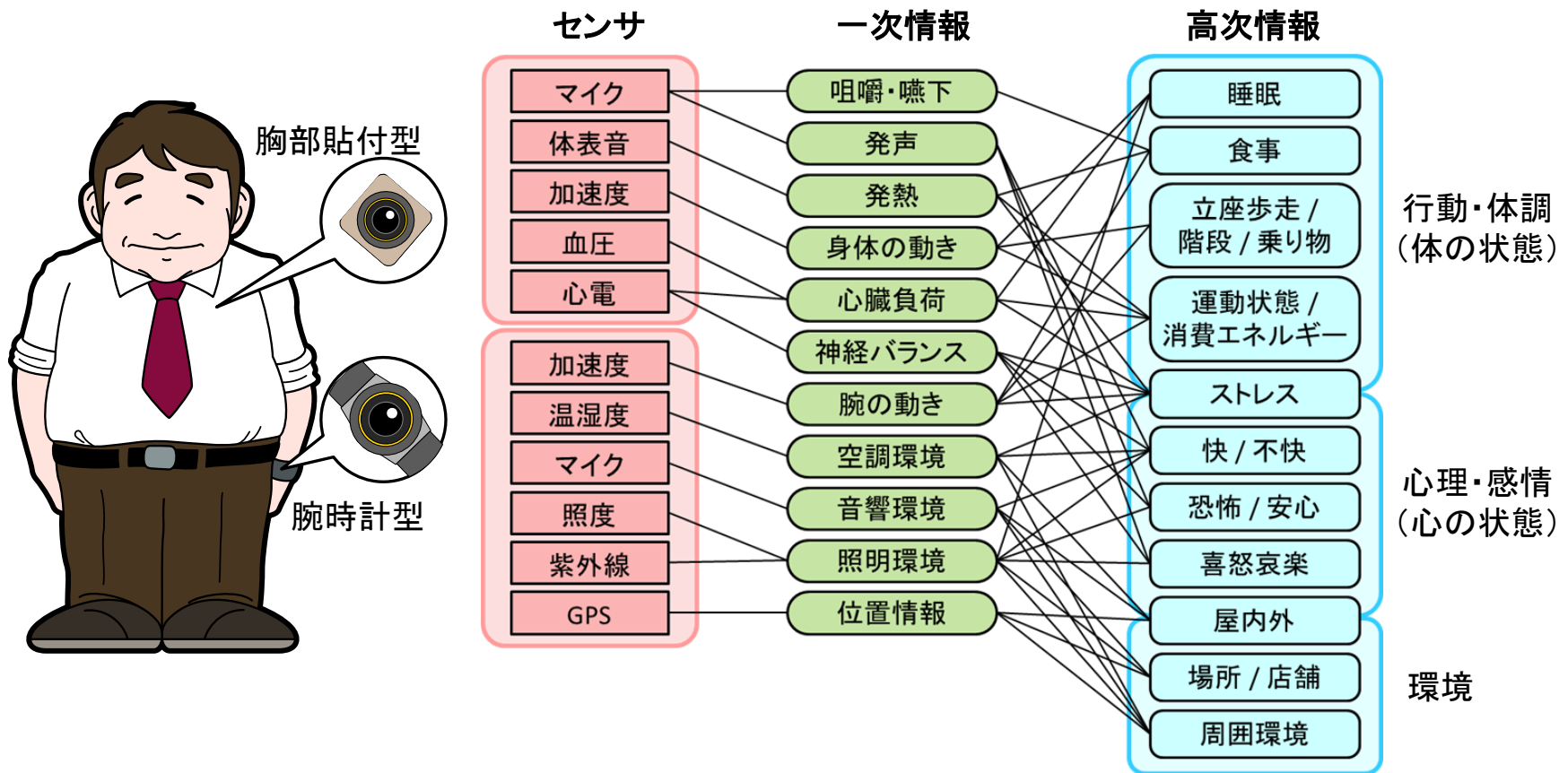
血圧
センサ

食習慣
センサ

ストレス
センサ

- 拘束感のないモニタリング
- 長時間にわたる連続的なモニタリング
- 行動・体調(体の状態)、心理・感情(心の状態)といった高次情報の抽出
- 無線通信の低消費電力化

ウェアラブル生体センサと分析技術



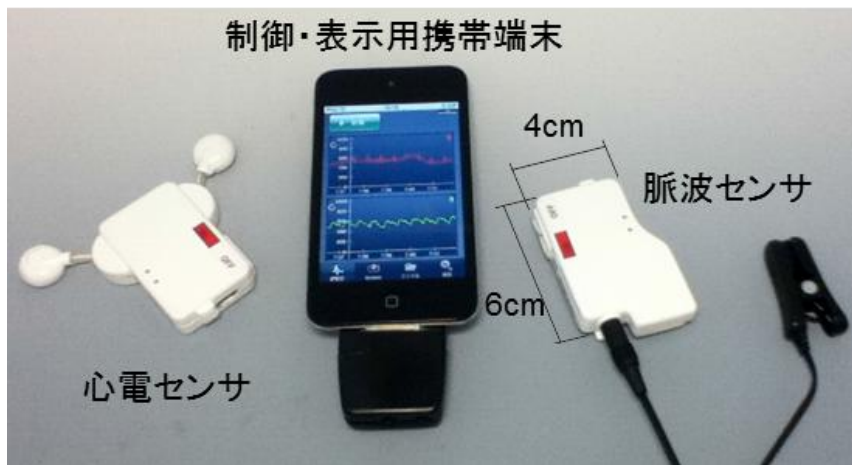
- ウェアラブルセンサにより、拘束感のないモニタリングを実現
- 複数のセンサ情報を分析することにより、行動・体調(体の状態)、心理・感情(心の状態)といった高次情報を抽出

血圧センシング(連続血圧計測)

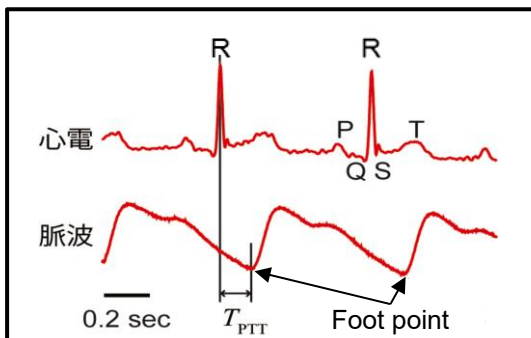
自由行動下における連続血圧測定をめざして、カフが不要な血圧センシング手法を開発

- 脈波伝播速度(PWV)法を拡張して、ウェアラブル血圧センシングを実現
- 耳朶での脈波計測によって、自由行動下でも連続血圧測定が可能なウェアラブル血圧センサ(ハード)
- 血流、血管の基礎方程式に基づく、高精度・高信頼な新しい血圧算出式(ソフト)

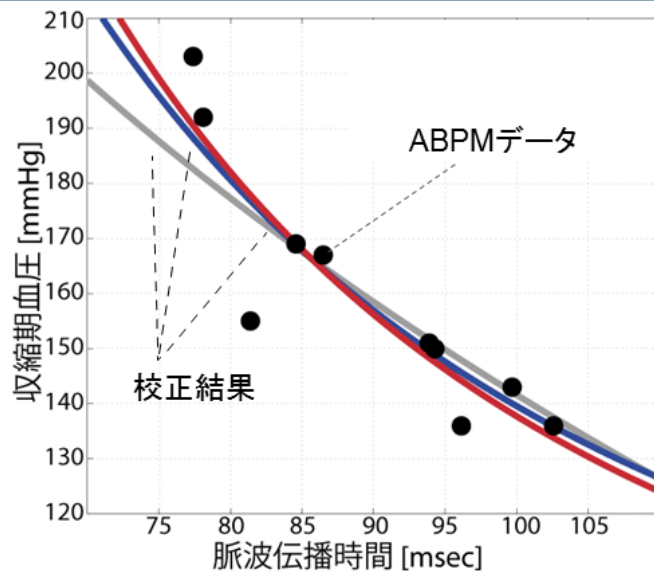
ウェアラブル血圧センサ(無線型)



脈波伝播時間



各血圧算出式による校正結果の比較



従来式: $P_s = A_1 \ln \left(\frac{A_2}{T_{PTT}^2} \right)$ • Moens-Korteweg 式から導出

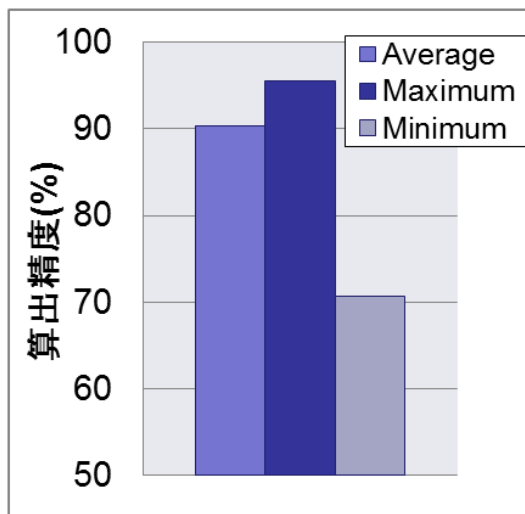
提案式(1): $P_s = B_1 \ln \left(\frac{B_2}{T_{PTT}^2} + B_3 \right)$ • Moens-Korteweg 式と血管壁面の力のつりあい式から導出

提案式(2): $P_s = \frac{C_1}{T_{PTT}^2} + C_2$ • 血流、血管の基礎方程式から導出

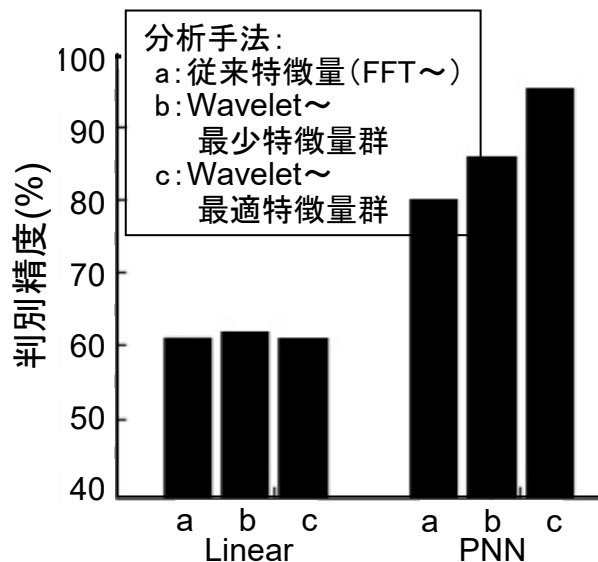
食習慣センシング

音情報だけを用いる食習慣分析手法と、ウェアラブルな食習慣センシングシステムを開発

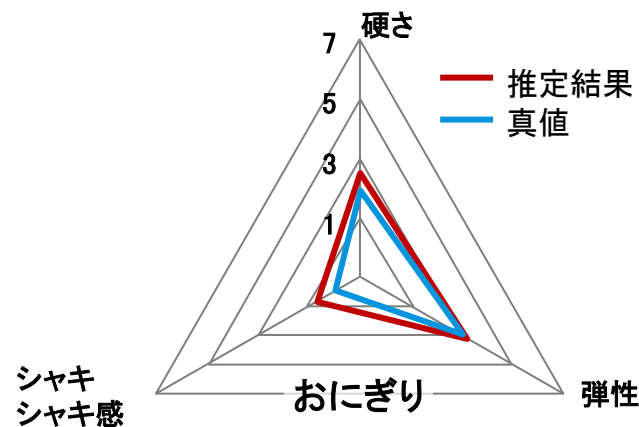
- 咀嚼音の特徴だけを増幅するアルゴリズム(ADA)の発案により、個人と食品の種類によらない咀嚼回数算出手法(平均精度:93%)
- Wavelet解析から特徴量抽出、最適群選定、PNNにより、個人によらない食関連行動分析手法(平均精度:96%)
- HMMの適用により、3つのフードテクスチャー(硬さ、弾性、シャキシャキ感)を7段階で評価するフードテクスチャー推定手法(平均精度:93%)



携帯端末での咀嚼回数算出精度



「食べる、飲む、話す」の分析結果

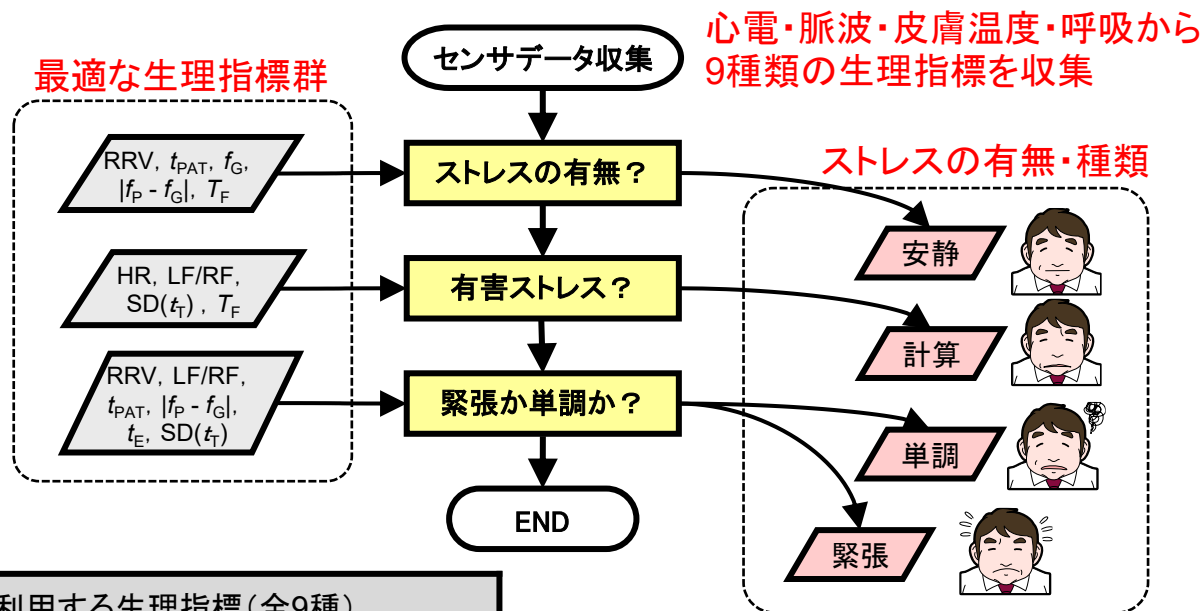


咀嚼音からWaveletとHMMを用いた
フードテクスチャー推定結果

ストレスセンシング

個人によらず、様々なストレスを判別できるストレス推定手法を開発

- 単一の生理指標ではなく、複数の生理指標を選択的に用いることで、ストレス有無の判別率を大幅に向上 (平均精度: 87%)
- ストレス状態を、安静、基準(計算)ストレス、単調ストレス、緊張ストレスの4種類に分類 (平均精度: 63%)



センサ	利用する生理指標(全9種)
心電	心拍数HR, RRV, LF/RF
脈波	脈波伝達時間 t_{PAT}
皮膚温度	平均指部皮膚温度 T_F
呼吸	呼吸重心周波数 f_G , f_G と呼吸ピーク周波数 f_P の差の絶対値 $ f_P - f_G $, 呼気時間 t_E , 呼吸時間の標準偏差 $SD(t_T)$

ストレス推定手法と判別結果

生理指標	RRVのみ使用	最適な生理指標	ステップ分け+最適な生理指標
ストレス有無	63% ± 1%	87% ± 3%	—
ストレス種類	26% ± 2%	56% ± 3%	63% ± 5%

雰囲気コミュニケーション端末

- 遠隔コミュニケーションを円滑に進めるツールとして、雰囲気コミュニケーション端末「障子 (Shoji)」を開発した。障子越しに隣の部屋の雰囲気が伝わるイメージで、離れた場所にいる相手のことを身近に感じる感性豊かなコミュニケーションの実現をめざした。

(人の発生する情報)

体感温度(連続的に変化)

- ・高い: 赤色
- ・普通: 緑色
- ・低い: 青色

照度(連続的に変化)

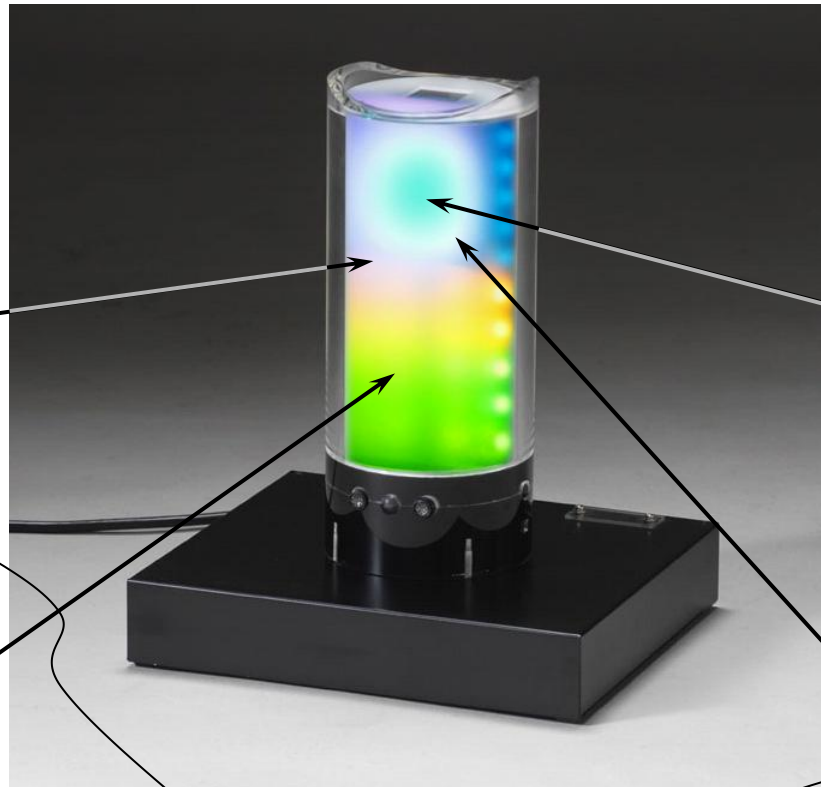
- ・明るい: 明るい光
- ・暗い: 暗い光

騒音

- ・うるさい: 速い点滅
- ・少しうるさい: 遅い点滅
- ・静か: 点灯

過去の環境情報

- ・過去の体感温度, 照度



存在

- ・いる: 点灯
- ・いない: 消灯

移動

- ・速く移動: 速い点滅
- ・ゆっくり移動: 遅い点滅
- ・移動しない: 点灯

感情

- ・怒り: 赤色
- ・喜び: 黄色
- ・悲しみ: 青色
- ・その他: 緑色

色温度

- ・蛍光灯: 白色
- ・白熱灯: 橙色

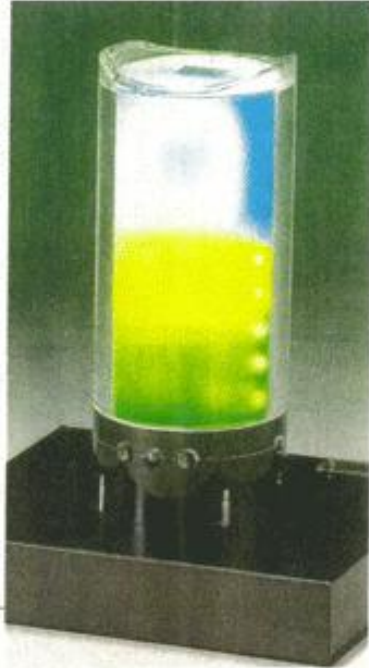
(周囲の環境情報)

2006年11月7日 朝日新聞 10面

上司のご機嫌、色でお知らせ

蓄電池大手ジーエス・ユアサグループのジーエス・ユアサインダストリー（京都市）は6日、離れた相手の感情や、場の雰囲気や光の色や明るさで伝える通信装置「障子（SHOJI）」を、東大大学院教授の山田一郎研究室と共同開発したと発表した。実証試験を経て、業者にも30万〜40万円で限定的に売り出す計画だ。

高さ約30センチ、直径約10センチの円筒形の照明装置二つ一組で、それぞれの基部に温度や人の動きなどを感知する6種類の検知器とマイクを内蔵。近くに人がいると中央に丸い明



離れた場所の雰囲気 声を分析

かりがとまり、人の声を分析して感情を、怒り⇨赤▽平常⇨緑▽喜び⇨黄▽悲しみ⇨青の4色で表す。判別率は75%という。

全体の色は温度と湿度で変わり、光や音に反応して明るくなったり、点滅したりする。二つをインターネット回線をつなぐと、一方が検知した「雰囲気」が、もう一方の照明に現れる。名前は「障子（SHOJI）」からつけた。

同社は一病室と看護師の詰り所、役員室と秘書課、離れて暮らす家族同士などで使ってもらえれば」としている。

雰囲気伝える装置。上の中央は人の動きや感情、周りは温度や明るさなどの情報を表現する＝ジーエス・ユアサインダストリー提供

人の感情など

光の色で遠隔地に伝達

ジーエス・ユアサインダストリー 通信装置を開発

【京都】ジーエス・ユアサインダストリー（京都市南区、上田温之社

長、075・312・0333）は6日、離れた場所にいる人の環境や感情などを光の色でリアルタイムに伝える雰囲気情報コミュニケーション装置「障子」を開発した。東京大学大

学院工学系研究科の山田一郎教授と共同で開発した。自社役員室や病院などでフィールドテストを実施し、07年4月の商品化を目指す。

照度など5種のセンサーとマイクを搭載。センサーが周囲の温度や明るさ、移動など人の活動状況をキャッチする。感情

情報は、感情の解析・伝送アルゴリズムを活用し、音声情報から抽出する仕組み。判別率は75%という。情報は上部円形の発光ダイオード（LED）の色で示し、怒りを赤、悲しみを青で表す。

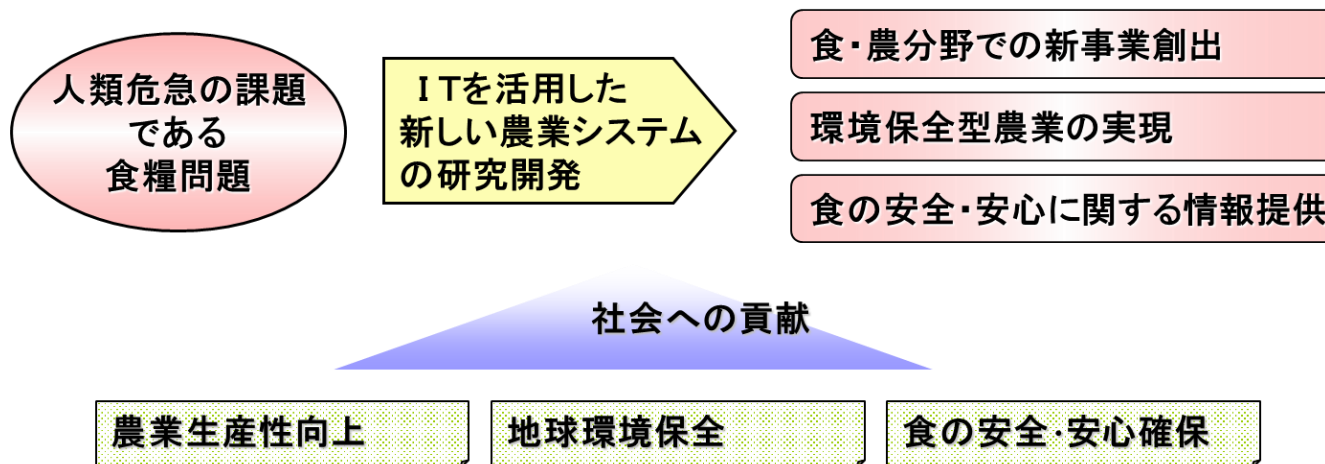
インターネットを介せば、単身赴任家族など離れていても状態がわかるため、適切なコミュニケーションがとれる。同社は「プライバシーに考慮し、映像でなく色でそれとなくわかるのがポイント」としている。

(5)IT農業(IT農業プロジェクト)

- 21世紀における人類危急の課題は、環境、エネルギーと並んで食糧であると言われている。日本でも、食糧自給率の低迷、農業従事者の高齢化や後継者不足など、農業の抱える問題が叫ばれて久しいが、日本農業を取り巻く状況は依然として厳しい。このような観点から、IT農業P研究会を主宰し、食・農の分野における新事業の創出、環境保全型農業の実現、食の安心・安全に関する情報提供をめざして、ITを活用した新しい農業システムの研究開発を目的とした。ICTを活用して、生産性向上だけでなく、地球環境保全、食の安全・安心確保にも貢献することが重要である。

(IT融合による統合型次世代農業プロジェクト)

- IT農業P研究会と鈴与グループ(鈴与、鈴与商事)とで共同プロジェクトを発足し、ITを活用した統合型次世代農業システムの開発を行った。具体的には、トマト低段密殖栽培の大規模実証試験を実施し、生育環境・生育状況・農作業の3軸モニタリングとビックデータ解析によって、生食用トマトで、高収量(25t/10a)および高糖度(7~9)栽培方式の確立をめざした。

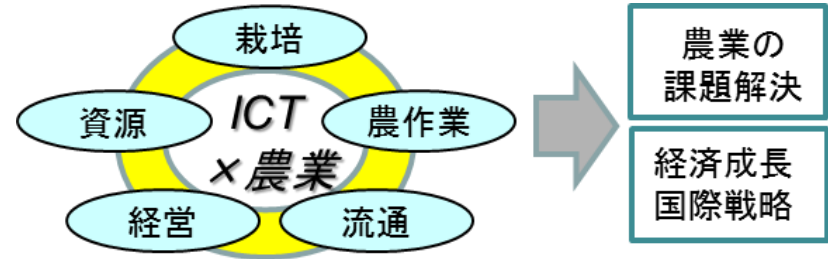


IT融合による統合型次世代農業プロジェクト

■目的:

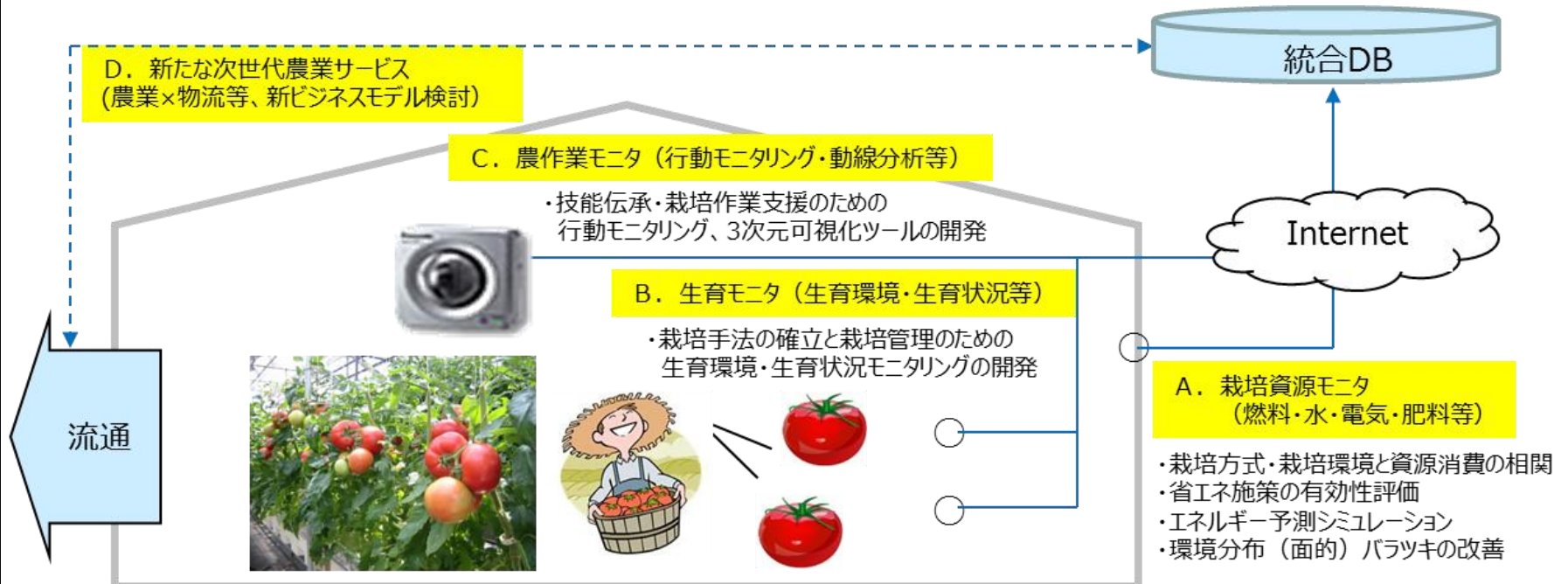
ICTを活用して、生育環境・生育状況・農作業の3軸モニタリングとビックデータ解析による新しい統合型次世代農業システムを開発し、後継者不足や生産性向上などの日本農業の課題解決を図る。

併せて、日本の経済成長と国際戦略(海外展開、地球環境保護)に貢献する。



■プロジェクトの特徴:

- ・農業バリューチェーンを見据えたトマト栽培の大規模実証試験
- ・生育環境・生育状況・農作業の3軸のビックデータ化による統合型次世代農業システムの構築



物流「鈴与」東大など産学協同

総合物流大手の鈴与グループは26日、東京大学やNTTファシリティーズなどと共同で、菊川市でトマトの大規模試験栽培を今年始めた。発表されたハウス内の気温や湿度などに加え、国内では珍しく農作業も指標化して生育への影響をデータ化し、高収量・高糖度のトマトの生育方法を調べる。大規模な情報を分析・活用する「ビッグデータ解析」を農業にも生かそうという試みで、新たなビジネスモデルの構築を目指すという。【平塚雄大】

農業「ビッグデータ解析」

菊川トマト試験栽培

指標化で最適ノウハウ開発

研究に加わった東京大では珍しい」と説明し、大学院の山田一郎教授が「人間環境学が、これま、環境に対しての取り組みは国で行ったのと同じく農作物が『言葉』連携は多、生育していくかは各地が企業との『産学』で調査が進んでいる

が、農作業も含めた三つの指標でデータ化し、栽培管理システムを開発したい。意気込み、山田教授は「農業従事者が高年齢化する中、タをどう生かすかは効率化に役立てると、『検討中』というが、最適な栽培ノウハウを開発できれば海外に売り込むことも考えられるという。



トマトの試験栽培が始まった鈴与グループ「ヘルム」ハウスの農業用ハウス(菊川市) 〓鈴与商事提供



農業用ハウス内の試験栽培の様子 〓向



低設密植栽培で育てられているトマト(菊川市のヘルム) 〓鈴与商事提供

IT活用 トマト大規模栽培

鈴与(静岡市清水区)と鈴与商事(同市葵区)は二十六日、東京大やNTTファシリティーズなどと共同研究契約を締結し、情報技術(IT)を活用した次世代のトマト施設栽培方式での大規模実証試験を開始したと発表した。

鈴与商事は主力のエネルギーの連棟ハウスの一角で高糖度生産用トマトの栽培に取組んでいる。通常は、第八十花房までのトマトを収穫するのに対し、実証試験は四十五倍の密度に苗を植えて第一、二、三花房のみ収穫する。三花房の果実のみ収穫を進め、鈴与グループの農業、低設密植栽培が特徴。手入りが楽な上、短期栽培のため、一般的にトマトは年二

菊川で実験 鈴与、東大など



大規模実証試験について記者会見する鈴与商事の阪本社長(左)と東京大の山田教授(静岡市役所で)

作だが、年二、五作が可能だといふ。生育環境や生育状況をセンサーで二日間計測し、栽培データのビッグ

データ解析により最適栽培モデルを検証する。鈴与商事の阪本省吾社長は記者会見で「糖度七・九(通常五・一六度)の高糖度のトマトを十七で二十五(通常十五・二十)と高収量確保できる」と説明。二年間四十一年相当以上のデータを収集する予定で、「技術伝承を可能とするシステムの開発で、後継者問題の解決にもつながる」とした。当面はトマトに限定するが、その他の野菜でもシステム開発は可能で、試験結果次第ではシステムの商品化も構築する。共同研究者は他に茨城大、NTT西日本。