

情報が世界を変える



情報とロボットおよび生命

2007/12/6

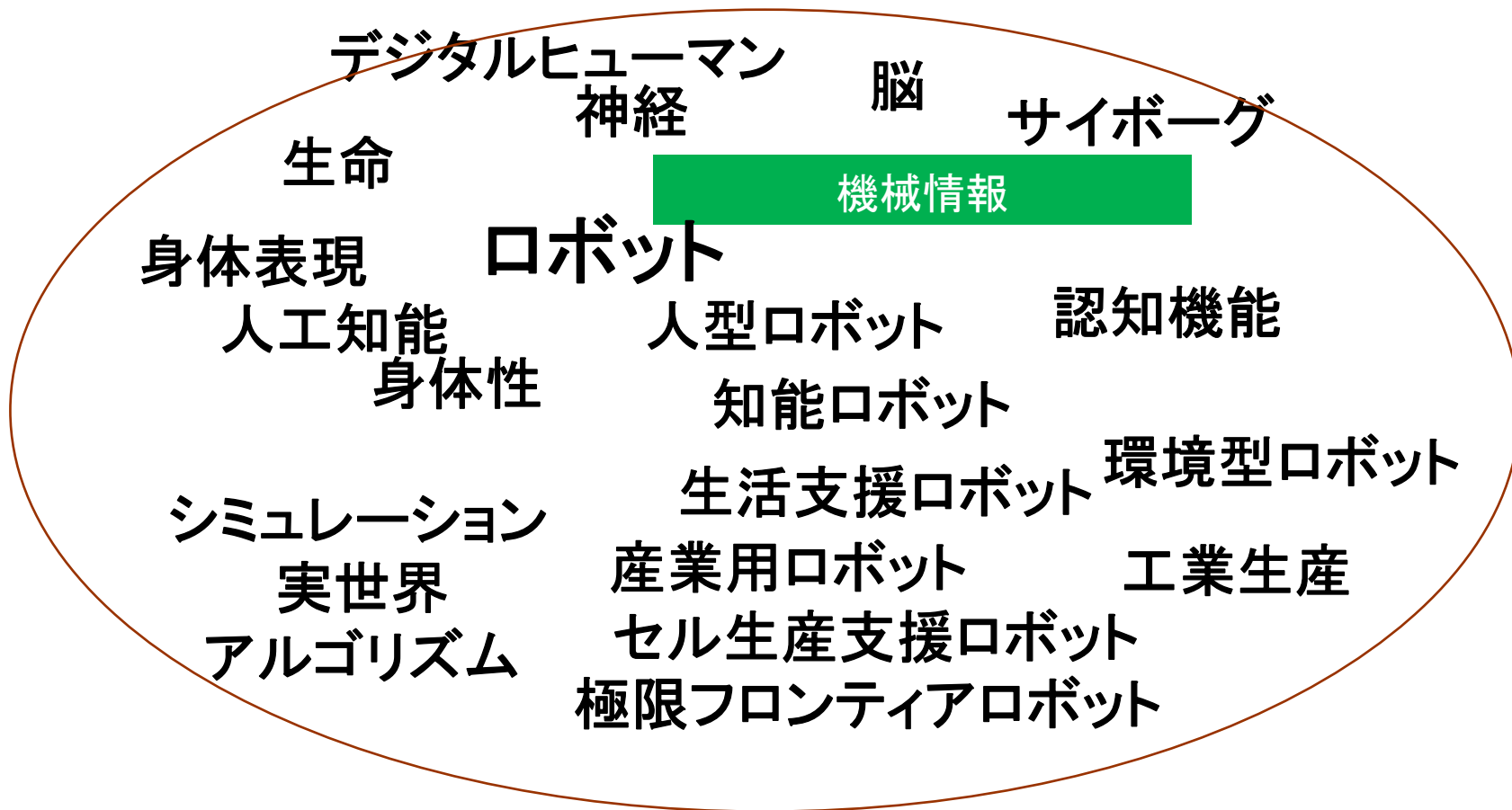
知能ロボットと歴史

情報理工学系研究科

佐藤 知正

†: このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

ロボティクスのカバー範囲(拡大図)



イントロダクション その1



なぜ、情報の講義にロボットが出てくるのか？

なぜ、情報にロボットが出てくるのか？

～情報の人へのLast 1mはロボットが担う～

- 我々は、形と動きをもっている。
- 我々の感覚は、顔や全身の形や動きにチューニングアップされている。
- 情報システムは、形と動き（＝ロボット）をもって、われ我々に接するのが自然であり、計算機能力が許す限りその方向をめざす。
人型ロボット→



～実世界情学＝ロボティクス～

- ロボットは、情報で制御される機械である。
 - ・ロボットを作る事は人や生物の情報処理を知ることにつながる。
 - ・また、ロボットを外界情報に適応させて制御することは、ロボットを人に役立てることに繋がる。
- このように、ロボットは人や生物の情報処理を知り、
実際の世界で情報をどのように扱うのかを
明らかにする、格好の対象である。つまり、
- 我々が生活する世界（実世界）の情報追求することは、とりもなおさずロボットを追求すること（ロボティクス）となっている。環境型ロボット→

提供：東京大学大学院
情報理工学系研究科
稲葉雅幸教授



ロボットの3つの役割と本講義のスタンス

- 人に役立つ役割→自動車につぐ新しい産業の創成
→社会問題の解決、社会ニーズに答える

※情報システムの人へのラスト 1m は、
形と動きをもったロボットの世界

- 人を知る役割 →ロボットによる学問の見直し

※ロボットは出口だけではない、Scienceあり
作ってみることで、理解が深まる

- 人を感動させる役割→ロボットの教育、意識高揚

※ソフトとハードを融合して扱える教育・人材育成

※新ロボットプロジェクト

「実世界で働く情報システム＝ロボット」の視点で、
人や実世界を対象とする情報処理に関して、
ロボットのこれまでの50年と、こらからの50年を俯瞰する。

イントロダクション その2

講義「情報とロボットおよび生命」内容概要

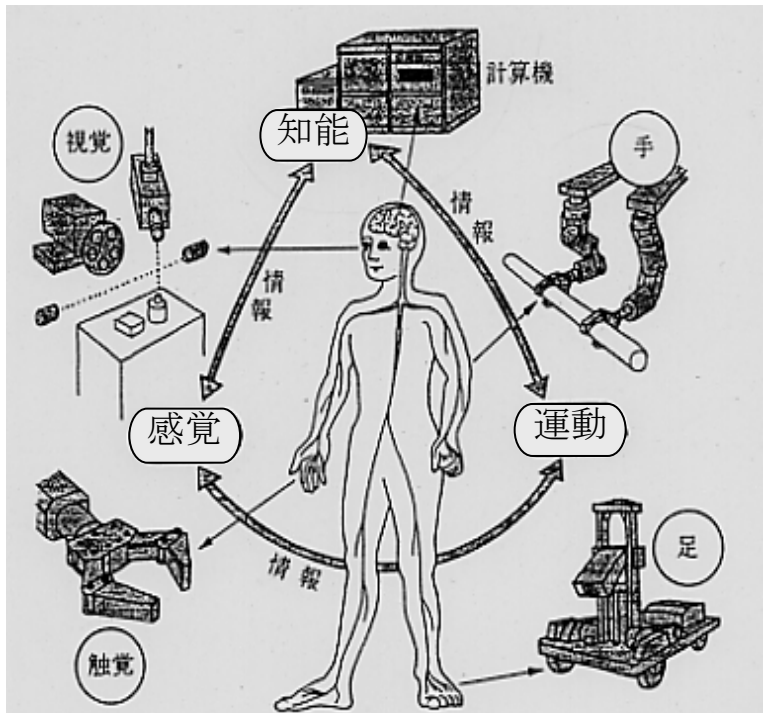
- 人をめざし人を超えるロボットの情報学
- 人の認知を解明するロボットの情報学
- 生命を知るロボットの情報学
- 人に役立つロボットの情報学

情報とロボットおよび生命 12月8日

人をめざし人を超えるロボットの情報学

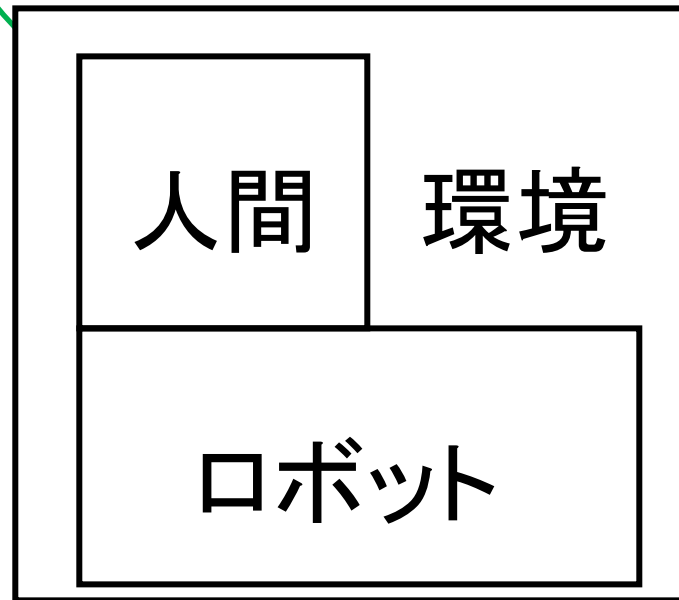
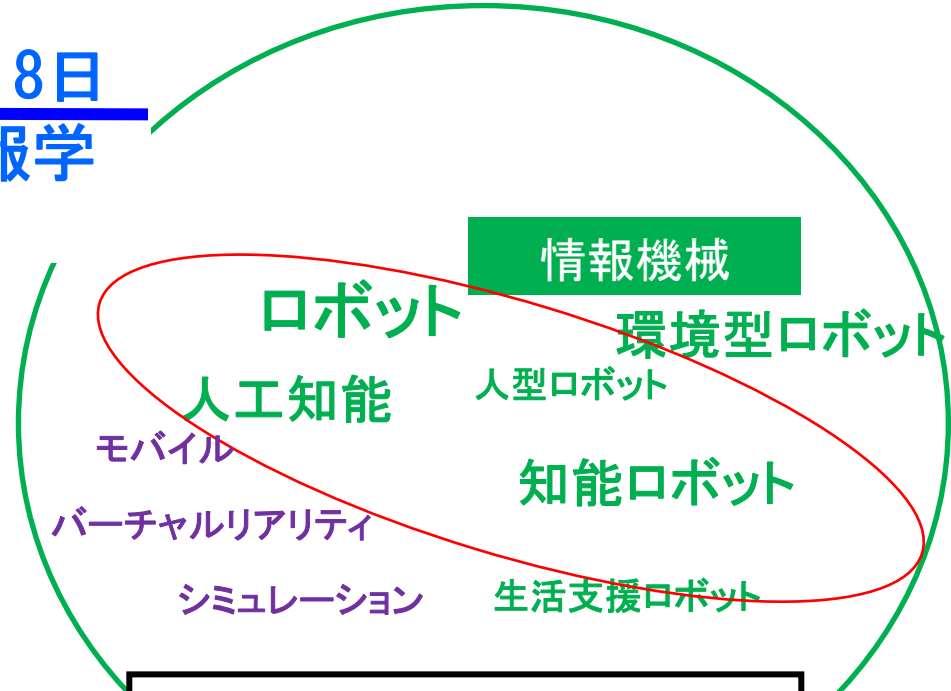
～佐藤知正担当～

知能ロボットの歴史 (1960年代～2000年までと、 最も新しいロボットのビデオ)



若松清司・佐藤 知正共編 「知能ロボットー次世代の
ロボット技術ー」昭和59年 オーム社 4ページ図1・2

See—Plan—Doモデルと
その情報処理、限界と展開



人ーロボットー環境デルと
その情報処理

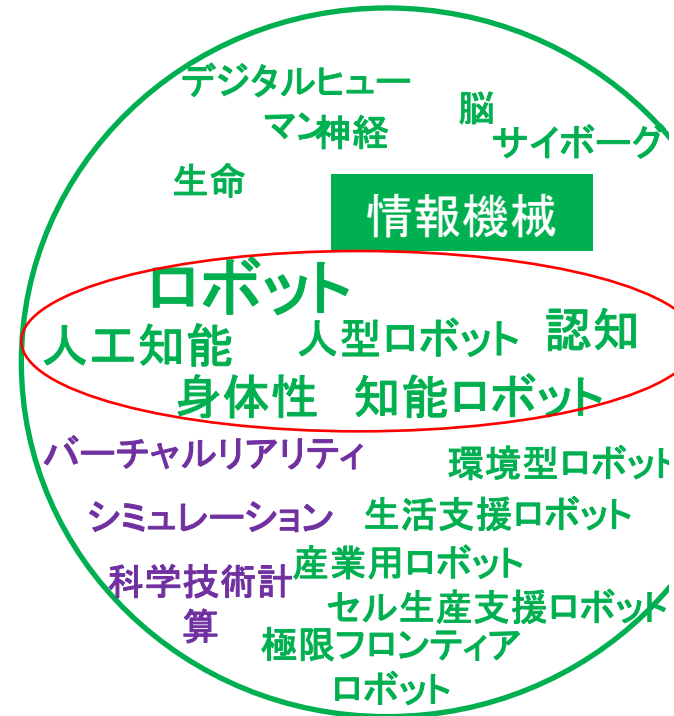
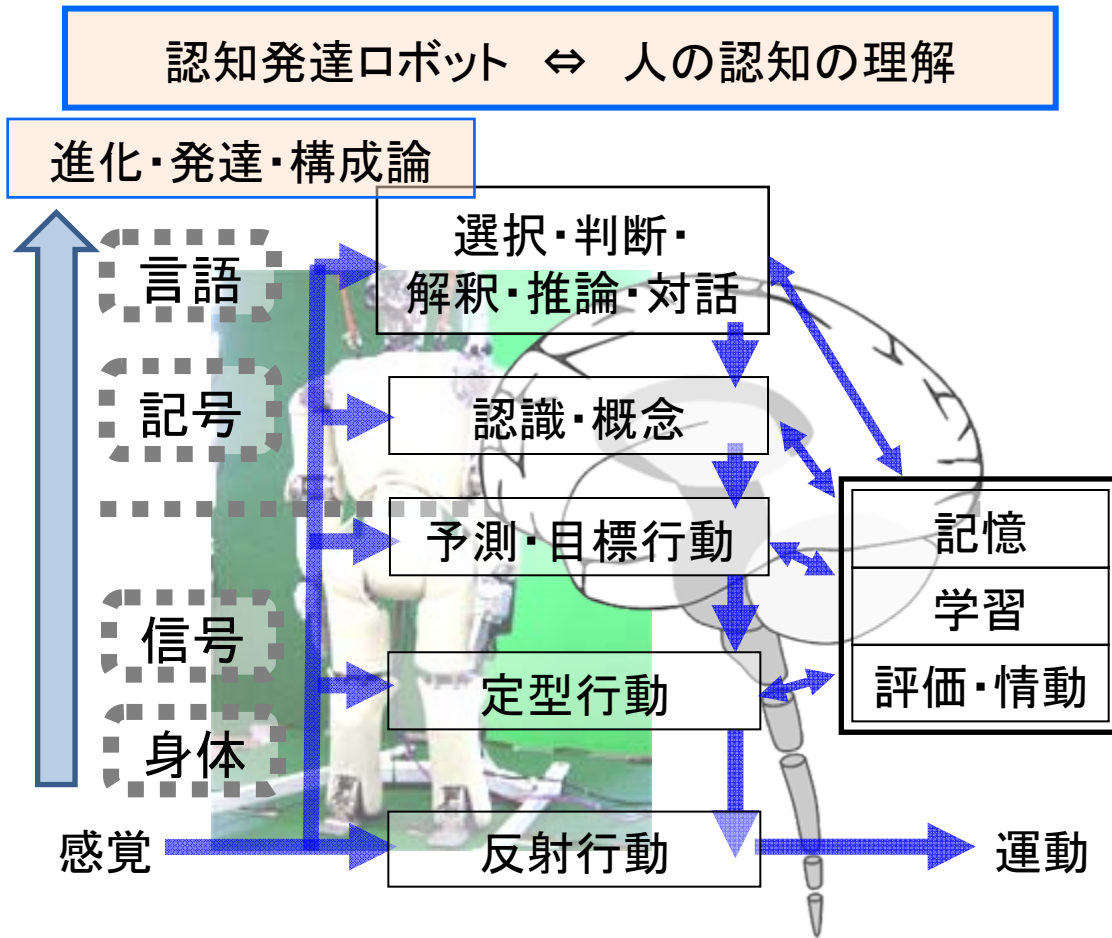
情報とロボットおよび生命 12月13日

人の認知を解明するロボットの情報学

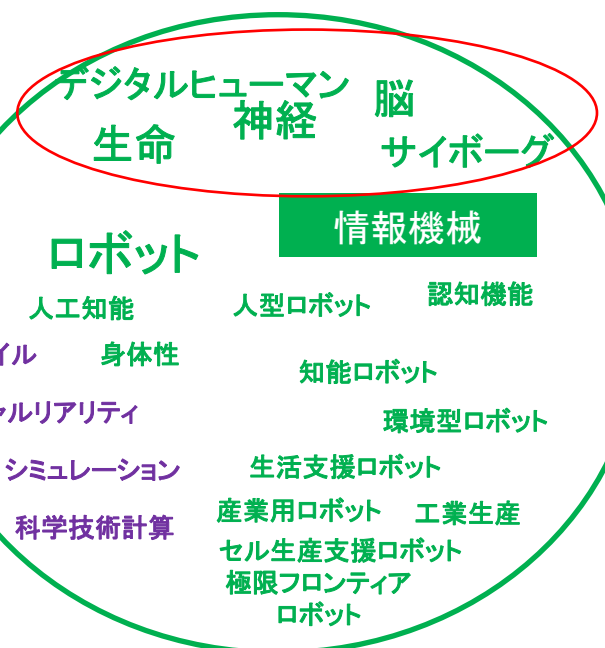
～國吉康夫担当～

ロボットと知能

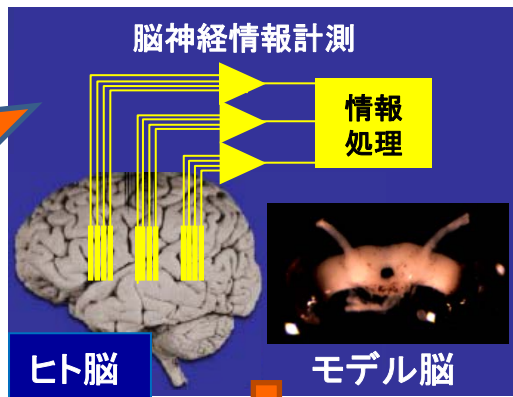
(学習、上達するロボットの情報学)



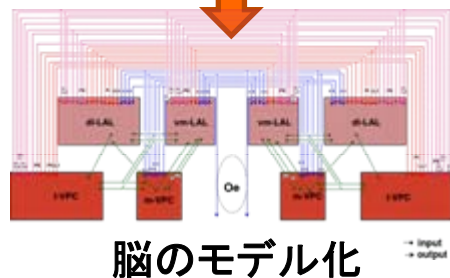
生命とロボット
(ロボットによる
脳・神経の情報学)



ロボットを介した
ヒト・生物の理解



脳・神経の生物学的分析



バイオインフォマティクス・
ニューロインフォマティクス



ロボティックヒューマン



生物規範型ロボット

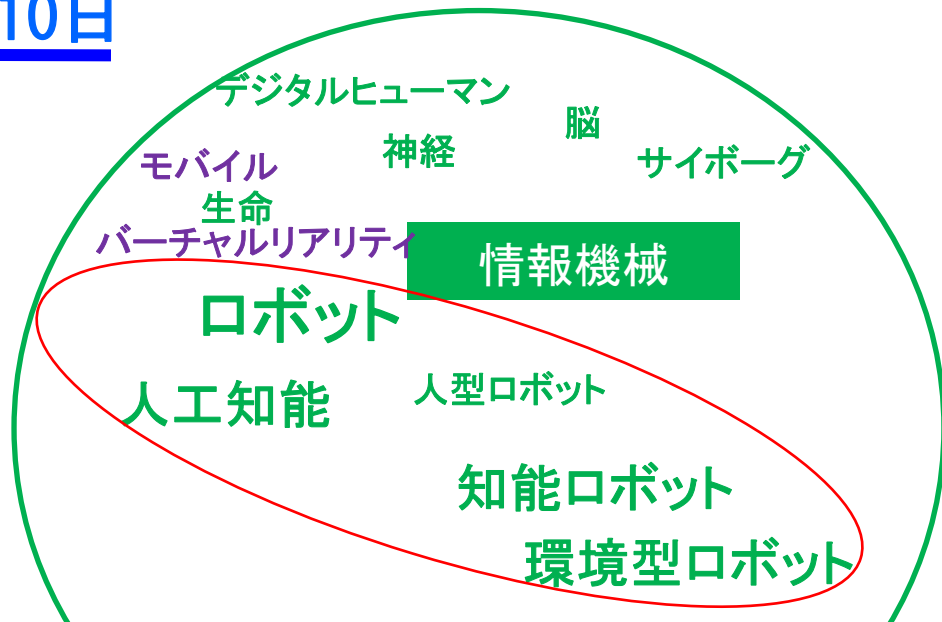
ロボット実現による評価

情報環境とロボット (部屋型ロボットの情報学、 ユビキタスシステム)



東京大学 21世紀COE実世界情報プロジェクト監修 佐藤 知正編著
「人と共存するコンピュータ・ロボット学-実世界情報システム-」
2ページ図1-1-1 オーム社

ロボットインフラ における情報処理



自動車技術開発の歴史とそれに学ぶロボット展開戦略

自動車の技術開発史

- <基礎技術開発の時代> 1859年～第1次世界大戦
内燃機関エンジン、4輪のガソリン車、空気タイヤ
- <社会技術開発の時代> 1920年代～第二次世界大戦
アスファルト道路、高速道路、高速道路網
- <民生技術開発の時代> 1946年～現在
民生品として日本車が世界を席卷

20世紀は自動車の世紀

21世紀はロボットの世紀

「情報とロボットおよび生命」 第一回

人をめざし人を超えるロボットの情報学

前半 ●人をめざすロボットの情報学
(1960年代～1980年代)

後半 ●人を超えるロボットの情報学
(1980年代～2000年)

「情報とロボットおよび生命」 第一回前半

人をめざし人を超えるロボットの情報学

前半 ●人をめざすロボットの情報学

前半A ●知能ロボットの歴史(1960年～70年代)

前半B ●知能ロボットの歴史(1970年～80年代)

後半 ●人を超えるロボットの情報学

ロボット技術の展開を実感してもらうことが目的

前半A)人をめざすロボットの情報学

知能ロボットの歴史(1960年代～1970年代まで)

人工知能の始まり

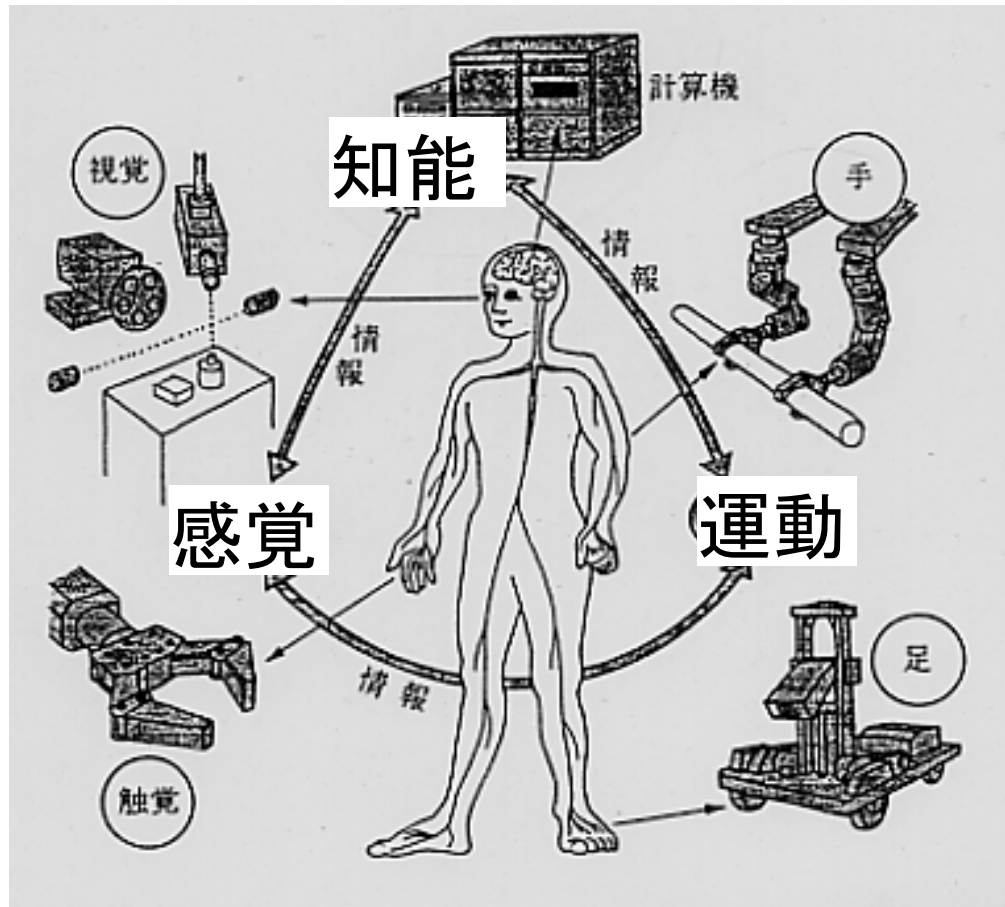
知能ロボット研究の始まり

●人工知能の時代 (1960年代～)

計算機技術の進歩により、研究者が計算機に近寄れるようになり、その情報処理能力を利用して人のもつ知能機能を計算機により実現しようとした。

主に記号（シンボル）情報を中心とした情報処理に成果がみられ、自然言語処理や問題解決などの研究がなされ、エキスパートシステムが実用された。実世界にかかわる知能の研究の一環として1960年代から知能ロボット研究が開始された。

人間の情報処理の初期のモデル



感覚
計画
行動

若松清司・佐藤 知正共編 「知能ロボット—次世代の
ロボット技術—」昭和59年 オーム社 4ページ図1・2

感覚計画行動モデル (垂直モデル)

ロボットとは 定義

ロボットとは

機能が人に似ている機械



運動機能、感覚機能、知能機能

知能ロボットとは

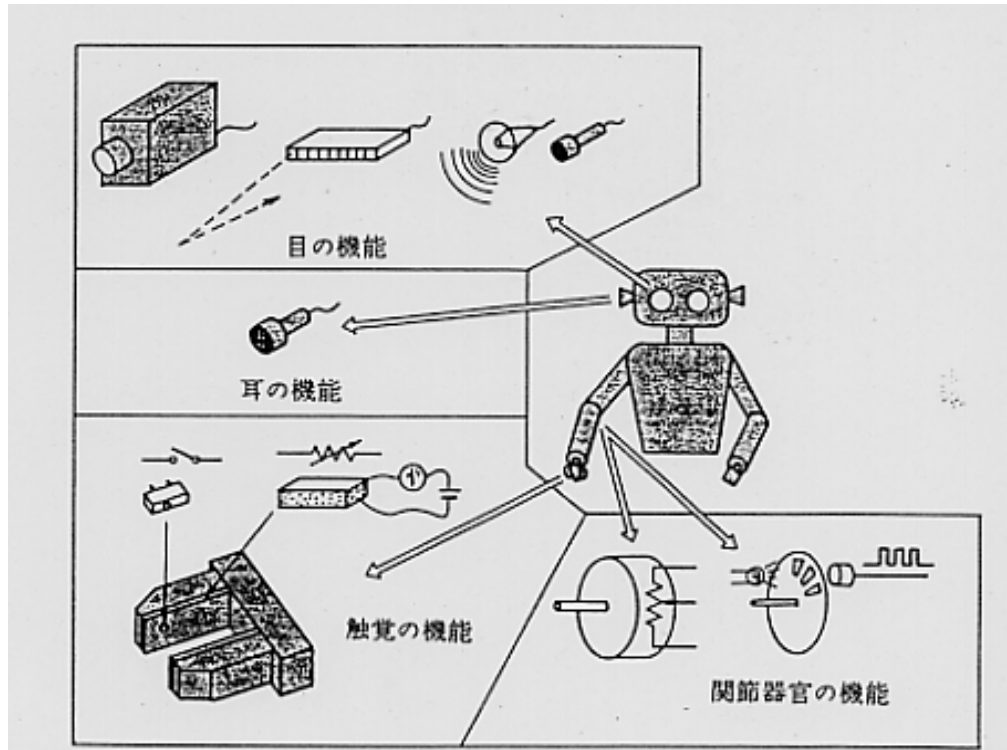
環境に適応し器用に仕事をこなす

ロボット

I. 感覚 (センシング) 機能:

人間の五感に相当する外界センサ
ロボットの状態を知る内界センサ

- 世界の情報を取り込み、処理する情報学



若松清司・佐藤知正共著 昭和59年
「知能ロボット—次世代のロボット技術—」
7ページ図1・5

パターン認識の研究 計算機8kwords ミニコン

目をもったロボットの草分け的存在 ETLロボットMK-1 1970

提供：産業技術総合研究所



手と目を持った知能ロボット

目をもったロボットの現状(37年後) アーバンチャレンジ(2007)



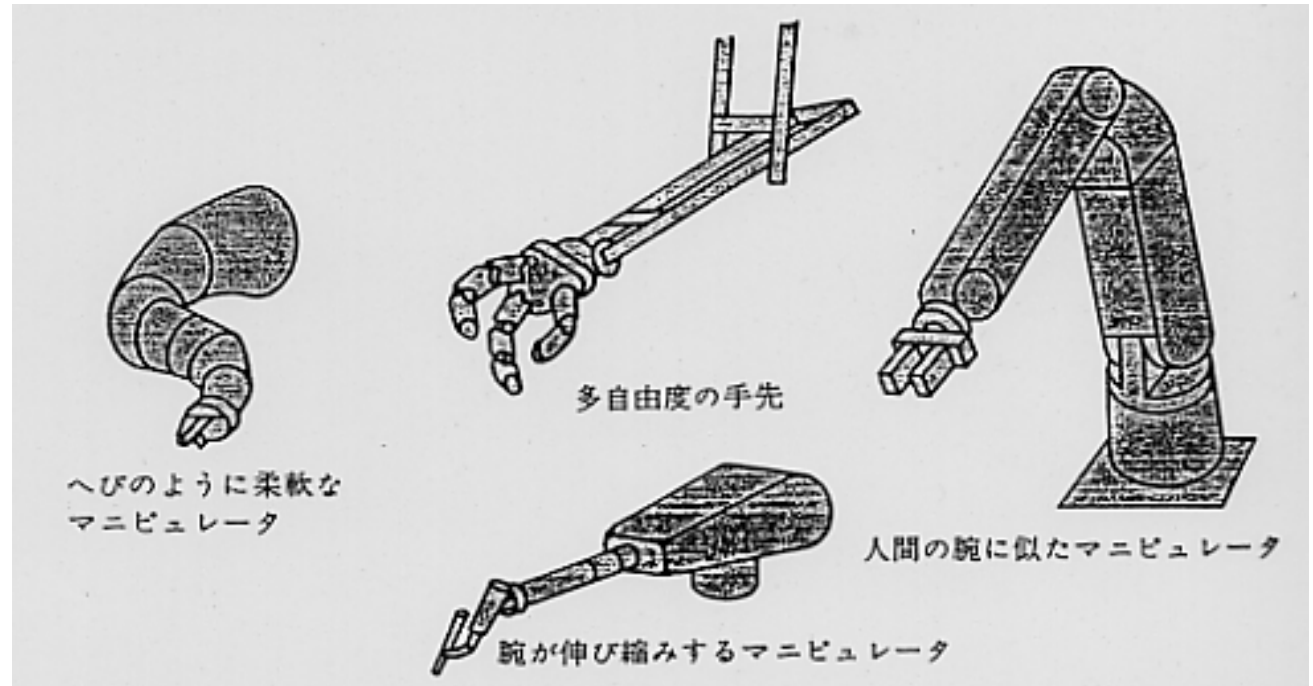
Source: http://robot.watch.impress.co.jp/static/2007/11/08/uc_54.wmv
(<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2007/11/08/733.html>)

他の車が走っていたり、信号の無い交差点があったり、路上駐車のある道を避けて通るといった市街地での自動車の自動運転が実現された

II. 運動機能 その1

1. 手(腕と指)の機能を実現する情報学:

- 物を動かす
- 部品を組み立てる
- 道具を操作する



若松清司・佐藤知正共著 昭和59年
「知能ロボット—次世代のロボット
技術—」6ページ図1・3

運動学 (特にカイマティクス) の確立

3本指システム (1978年)

- 3本指システム

 - 腕 (5自由度)

 - 指 (11自由度 = 親指3、人指中指4 + 4)

- ロープ駆動

- 作業

 - 棒のあやつり (Teaching and Playback)

 - ナットはめ (軌道計画)

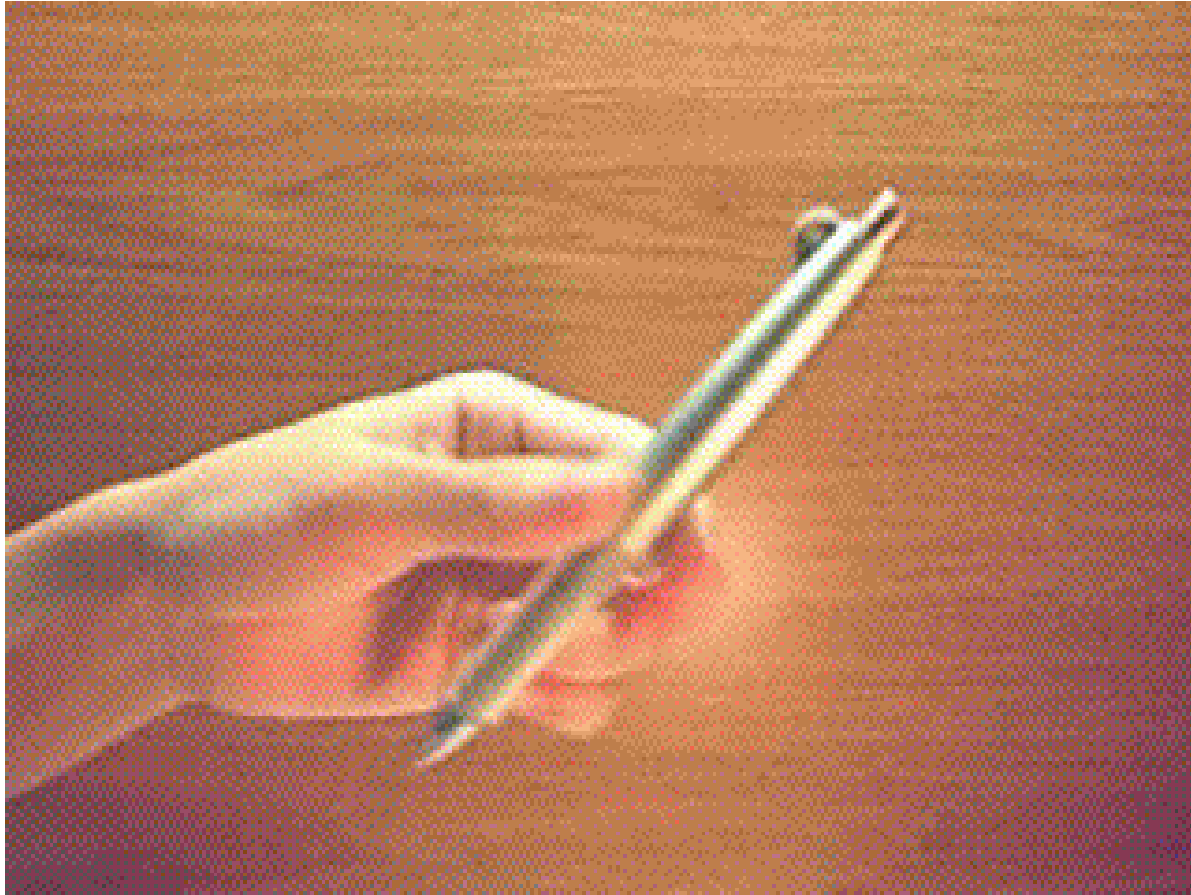


提供:新潟大学 岡田徳次 教授

指システム 1974

ここにあった映像ファイルは、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

人は、すごい

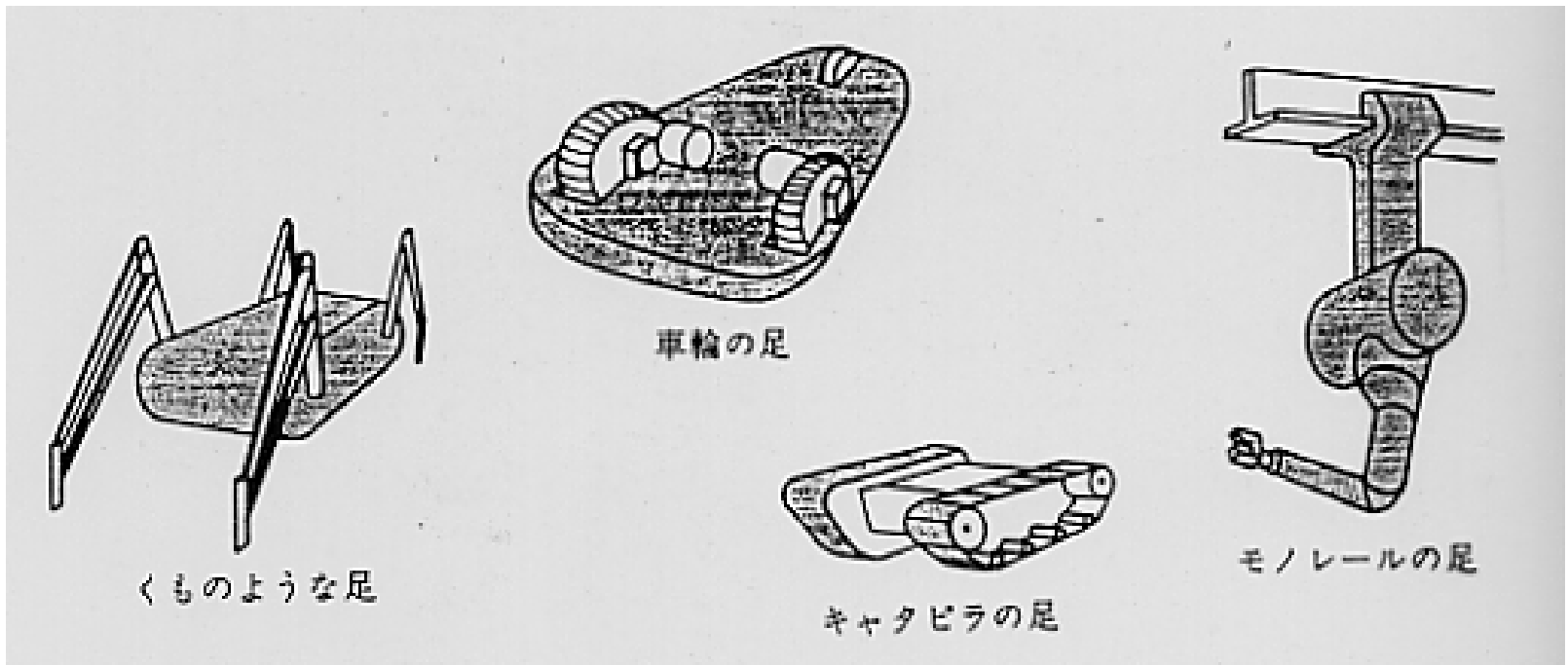


Source: <http://freestyle.penspinning.info/JapEn/japen1st.wmv>
(<http://freestyle.penspinning.info/JapEn/>)

II. 運動機能 その2

2. 足の機能を実現する情報学:

- ・ロボットを移動させる
- ・物を運搬する



若松清司・佐藤知正共著 昭和59年
「知能ロボット一次世代のロボット技術」
6ページ図1・4

軌道計画手法の研究

移動式ハンドリングロボット 1973

提供：産業技術総合研究所



ホッピングロボット CMU(1984)

ここにあった映像ファイルは、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

ホッピングロボットの現状(2006)



Source: <http://www.bostondynamics.com/dist/BigDog.wmv>

<http://www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=BigDog>

BigDog is the alpha male of the Boston Dynamics family of robots. It is a quadruped robot that walks, runs, and climbs on rough terrain and carries heavy loads. BigDog is powered by a gasoline engine that drives a hydraulic actuation system.

1960年～70年代の知能ロボット

トイワールド(おもちゃの世界)で、外界情報に基づいて、知能的な働きをするプログラムを準備し、知能機能を発現しようとした。人間は排除し、ロボットの自律性が追求された。

計算機内記述の不完全性、実世界で働くセンサやアクチュエータの不完全性、それになかんとく、人のもつ知能の多機能性が明らかになった。

前半B)人をめざすロボットの情報学

知能ロボットの歴史(1970年代～1980年代)

知能の機能

環境に適応する機能

器用に作業をこなす機能

人に適合する機能

を実現する情報学

これらの知能機能を仕事の仕方
を例にとって以下にみってみる

人の仕事のしかたを参考に

80年代初頭までの知能ロボット

を考えてみる

1. 作業を頼まれる
2. 手順を考える
3. 環境を作る
4. 部品(ナット)に腕を近づける
5. ナットをつまむ
6. ナットをひねる
7. ナットが回らないので、道具(レンチ) を使おうとする

仕事の仕方 1

人間の場合 知能ロボットの場合

作業を頼まれる

ロボット言語による
作業命令を受け取る

言葉を利用する

ロボット言語

「これ分解して」

語彙, 文法が制限された言語

Pick Valve1、Place Box on Table

身振り手振りの利用

手の動作を受け入れる→遠隔操縦

環境教示システム

残された課題：人に適合する機能

→人を見ていてその意図をくみとってくれる機能

遠隔作業ロボットの操縦風景



1982年7月

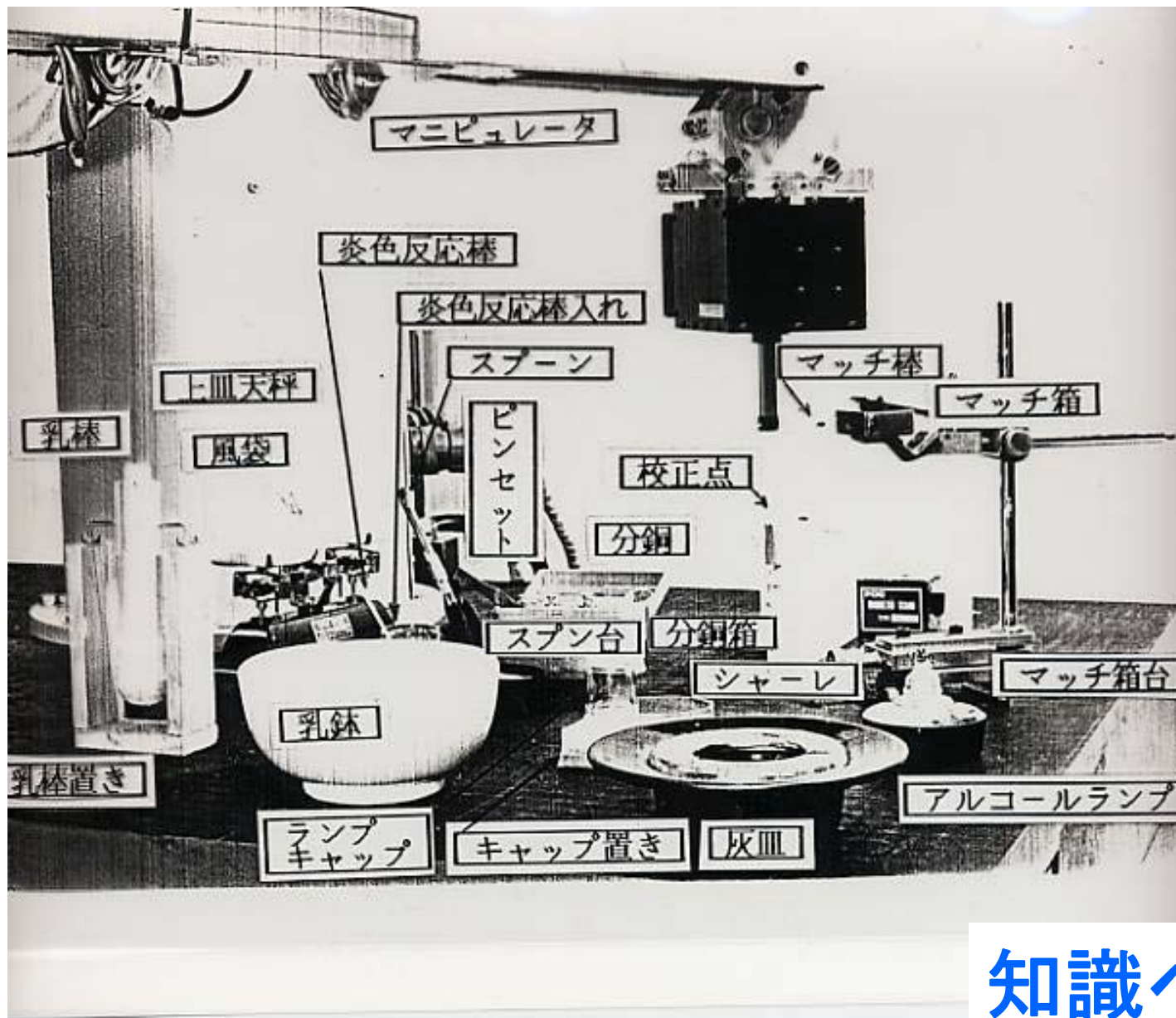
提供：産業技術総合研究所 平井 成興 様

知的遠隔作業ロボット MEISTER

提供：産業技術総合研究所



極限作業ロボットMEISTERの要素



提供：
産業技術総合研究所
平井 成興 様



仕事の仕方 2

人間の場合 知能ロボットの場合

作業の手順を考える

機械の組立関係から
作業手順を計画する

どうしたら分解できる
か、バルブをひねりな
がら考える

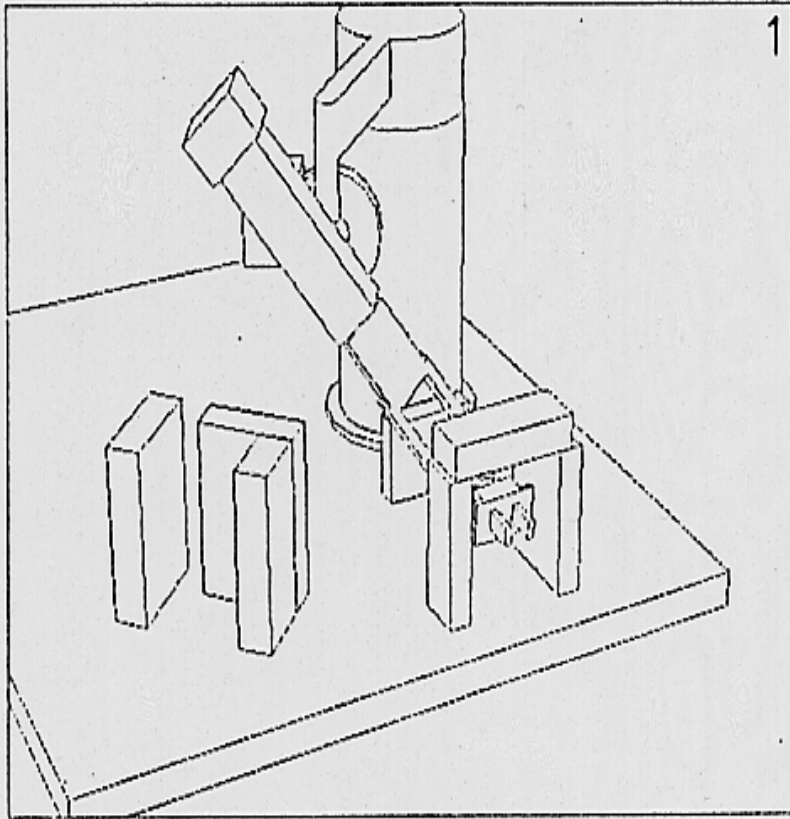
作業計画

残された課題：作業をやりぬく能力

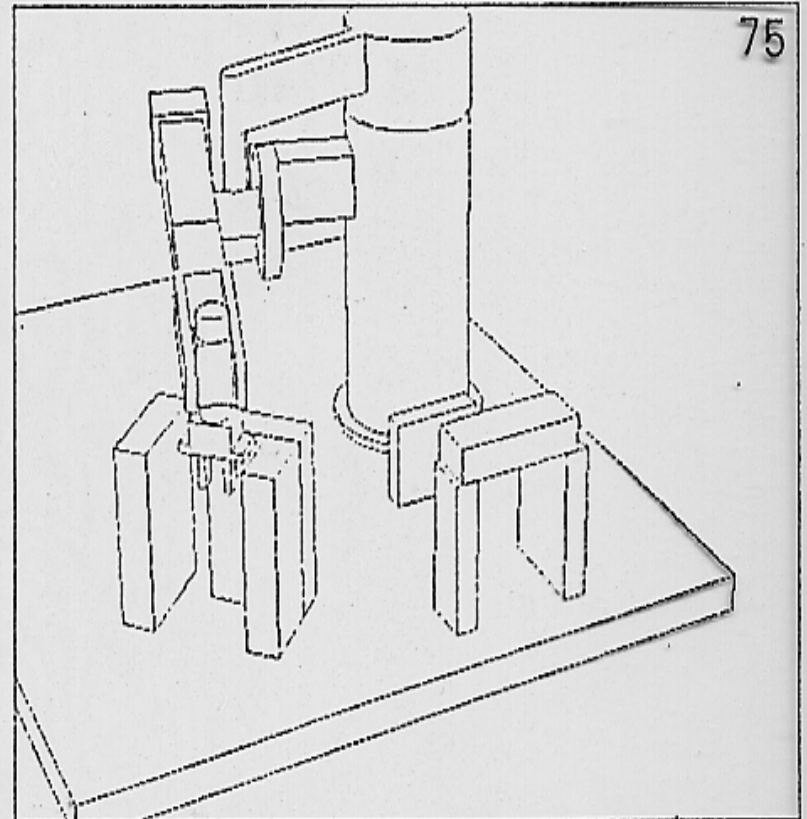
→豊富な知識や経験、常識を利用した作業計画

作業計画

提供：九州大学 長谷川 勉 教授



初期状態の
幾何モデル



最終状態の
幾何モデル

衝突回避経路計画システム

マニピレータの衝突回避動作の計画

問題:

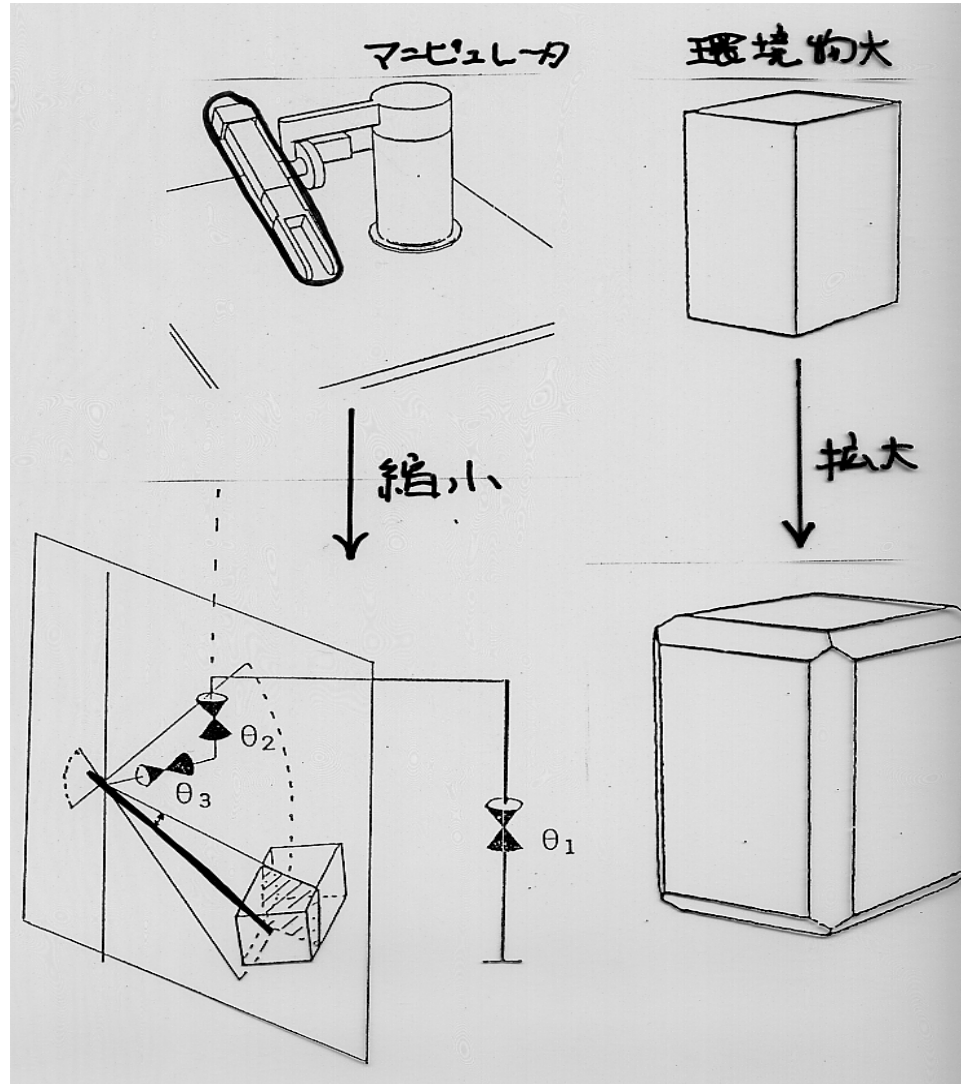
始点から目標点までマニピレータが作業環境内にある物体と衝突しないで動ける軌道経路を求める.

難しい理由

マニピレータの自由度数と同じ次元数を持つ空間の探索問題

作業計画を可能にするための工夫

マニピュレータの簡略化



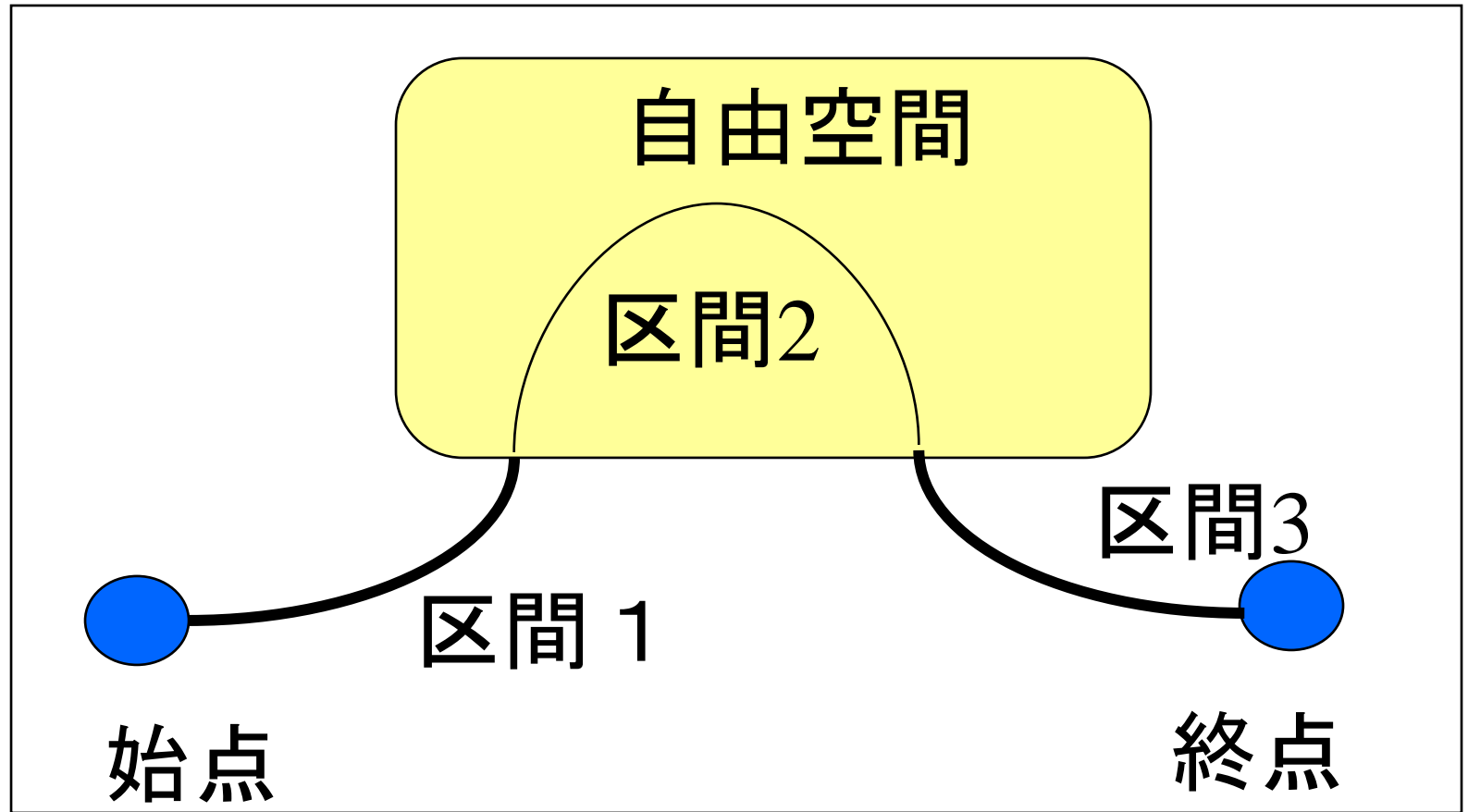
提供：
九州大学 長谷川 勉 教授

†

衝突干渉計算を高速化するため

作業計画を可能にするための工夫

Divide and Conquer

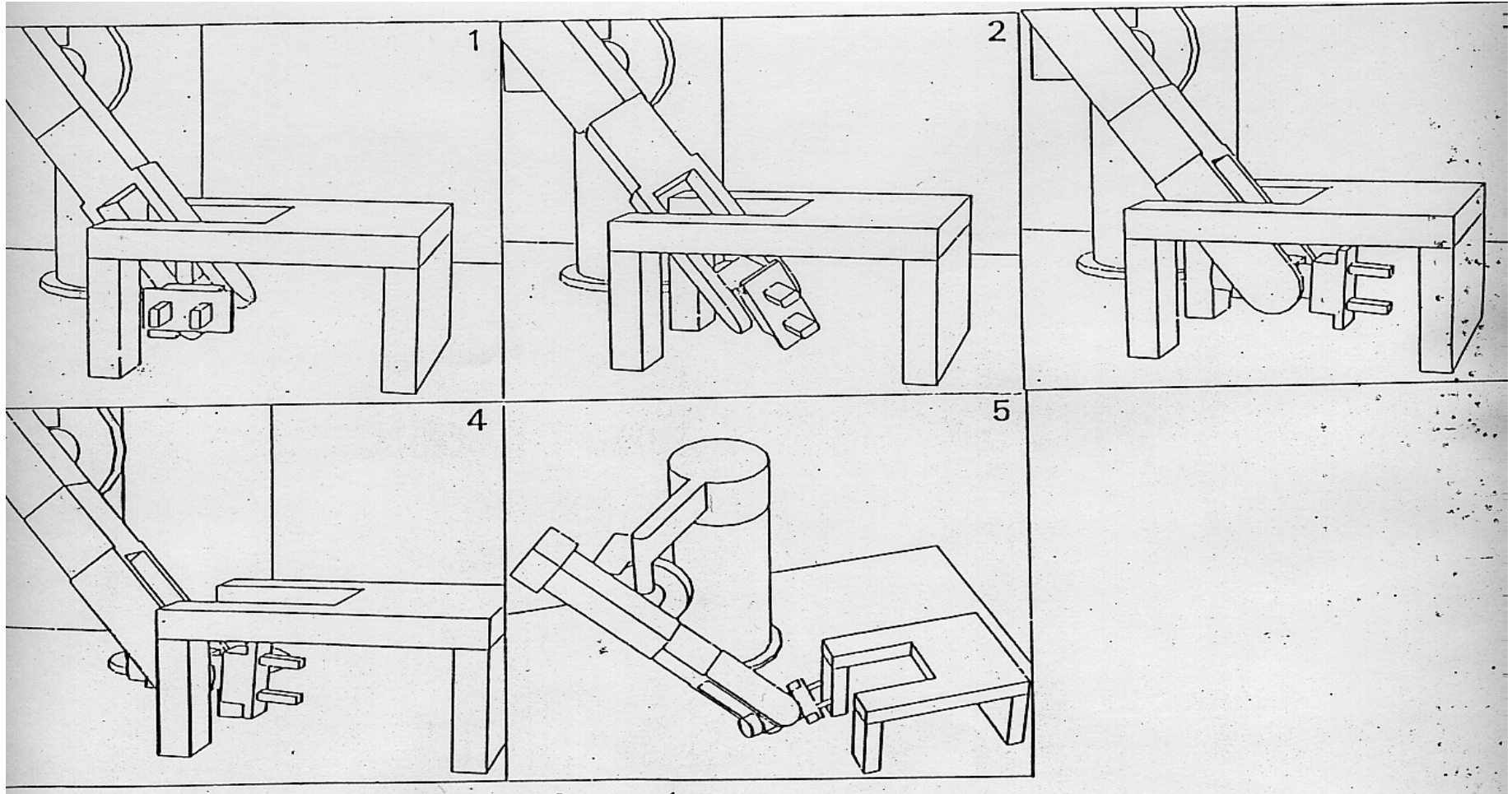


提供：九州大学 長谷川 勉 教授

複雑な問題を複数のシンプルな問題に分けてその組み合わせとして解くことが有効な場合が多い

計画されたアーム動作

提供：九州大学 長谷川 勉 教授



障害物回避動作ビデオ

提供：産業技術総合研究所



省略可

仕事の仕方 3

人間の場合 知能ロボットの場合

作業環境を整える

バルブをいい位置に

万力で固定する

バルブがよく見えるよう

頭を動かす

暗いときは照明をつける

カメラと照明位置を
計画する

能動的センシング計画

カメラ位置の計画

照明位置の計画

残された課題: 環境に適合する機能

→ 作業環境の能動設定・能動的センシング
の計画と実施などのロボットの能動性

HEAVEN センシングプランニングシステム

提供：中央大学 坂根 茂幸 教授



仕事の仕方 4

人間の場合 知能ロボットの場合

部品(ナット)に
手を近づける

ナットを見つ
ナットの上まで
手を
動かす

ナットの位置を測りそ
こへ手をもってゆく

画像理解

ナットを見つける

ベリフィケーションビジョン

ナットの位置の計測

軌道計画

障害物に衝突しない軌道を計画する

サーボイング：軌道に沿って手を動かす

**残された課題：環境に応じて作業をこなす機能
→瞬時の環境理解・判断と行動**

仕事の仕方 5

人間の場合 知能ロボットの場合

ナットをつまむ

ナットと指の位置を
合わせ指を閉じる

ビジュアルフィードバック

視覚情報を用いた手の位置調整

フォースフィードバック

指にかかる力がある値になる
まで指を閉じ続ける

残された課題：感覚をうまく利用して作業をこなす機能

→視覚・力覚・触覚・滑り覚・味覚などの五感センサの開発
とそれらを十分に利用するセンサリフィードバック

ハンドアイシステム

提供：産業技術総合研究所



光切断法、ベリフィケーションビジョン、知識ベース

仕事の仕方 6

人間の場合 知能ロボットの場合

ナットを
ひねってみる

5本の指を使い

軽くひねる

ナットの軸回りに
回転力を与える

力制御

腕をひねる

残された課題：器用に作業する能力

→微妙な力のかけ具合を調節する力制御

仕事の仕方 7

人間の場合 知能ロボットの場合

ナットが回らないから
道具(レンチ)を使おうと考える

ナットの回転角度を計測しながら
回してみる. 回っていなかったら
エラー回復処理ルーチンを呼び出す

エラーの検出

エラーの診断

エラーからの回復

残された課題：エラーを何とか回復し作業を遂行する能力
→様々な状況に対応できるエラーリカバリ機能、遂行意思

機械の分解を頼まれた時の仕事の仕方とロボット研究分野

人の場合

1. 作業を頼まれる
2. 手順を考える
3. 環境を作る
4. 部品(ナット)に腕を近づける

5. ナットをつまむ
6. ナットをひねる

7. ナットが回らないから道具(レンチ) を使おう

ロボットの場合

作業教示

作業計画

作業環境計画

ビジュアルフェードバック

マニピュレーション

力制御

エラリカバリ

一つ一つの機能に、研究分野が創成された

80年代初頭までの知能ロボット モデルベーストロボティックス

幾何モデルや作業モデルをベースに、それからの演算処理を行うことで、知能的な機能を発現しようとした。

- 幾何モデル... 計算幾何学 (Computational Geometry) へ展開、モデルの不完全性や変化に富む実世界への適応が問題点として残る → 90年代 Behavior based Robotics へ → そして、カーナビの時代
- 人間は教師として登場 → (90年代は) 支援対象に
- これらの研究は結果的に、人のもつ能力の優れていること、すばらしさを明らかにすることとなった。

その後計算機は、WorkStationへ

人をめざすロボット（1960～80年代）まとめ

人をめざすロボット（1960年代～）：人の知的働きや運動能力の実現を目指すロボットとその情報学

・ 背後にある考え方：

1960年代は計算機が高かった。研究者が計算機を使えるようになった時、計算機に考えさせようとする人工知能の研究が開始され、その延長線として、ロボットに物を見させたり、手作業をさせる試みがなされた。

・ 実現されたロボットの姿：

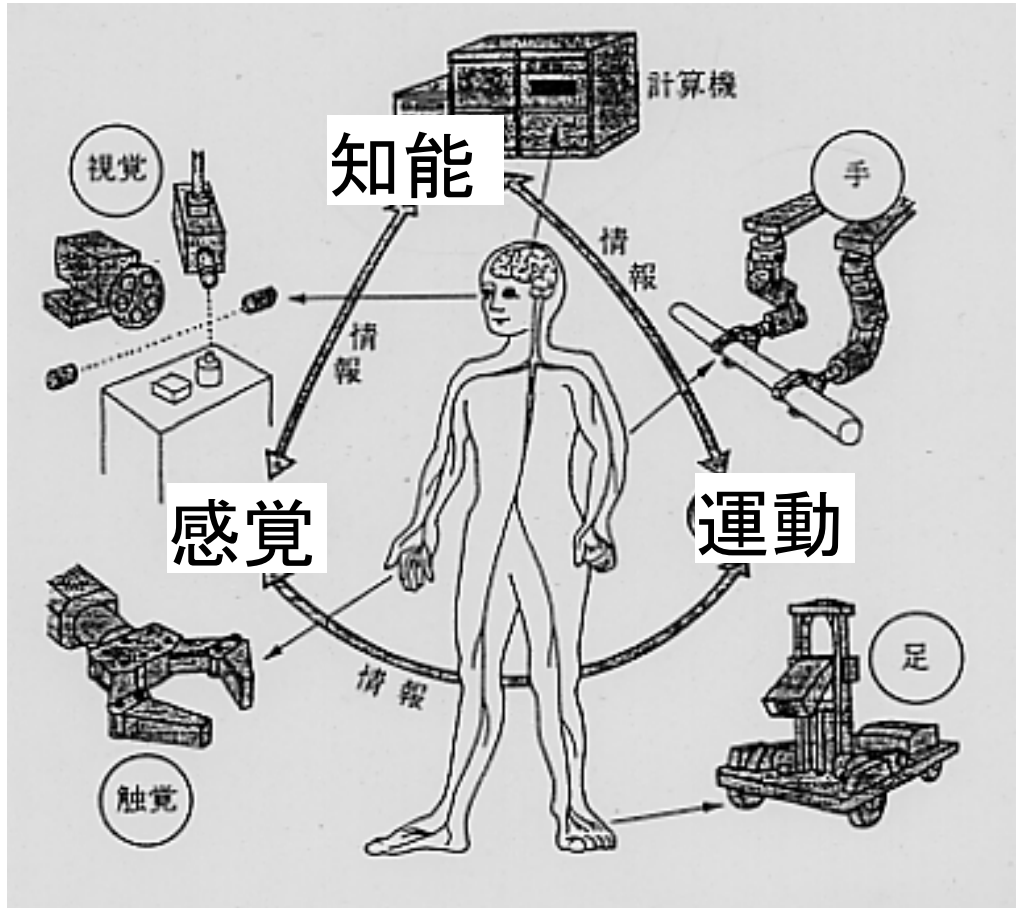
机の上の物体を認識するシステム、両手で大工仕事をすすめるロボット、器用に動く指、手と目をもった移動ロボット、ジャンプすることで移動するロボットなど、種々のロボットが人の機能の実現をめざして研究された。現在存在しているロボットの原型が全て試みられたといって過言でない。しかし、人の能力はそれを明らかに凌駕していた。一方産業ロボットは、人にはできない繰返し精度での作業能力により工場で幅広く応用されていった。

・ それを可能にしている技術：

コンピュータビジョン、運動学、移動ロボットの経路計画など、ロボティクスの基礎領域がこの時期に固まった。

モデルについての再考察

人間の情報処理の初期のモデル

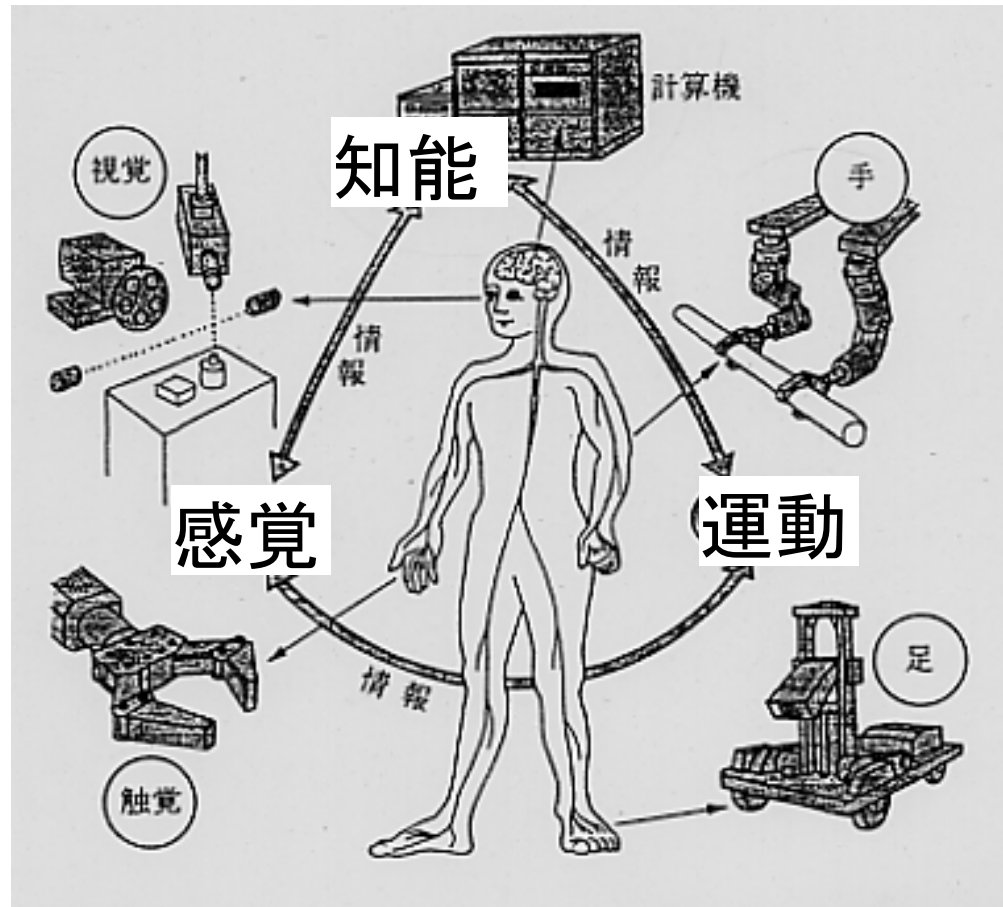


若松清司・佐藤 知正 共著
昭和59年
「知能ロボット一次世代
のロボット技術」
4ページ図1・2
オーム社

感覚 | 計画 | 行動

感覚計画行動モデル（垂直モデル）

人間の情報処理のその後のモデル



若松清司・佐藤 知正共著
昭和59年
「知能ロボット一次世代
のロボット技術」
4ページ図1・2
オーム社

感 計 行
覚 画 動

分散並列モデル（水平モデル）

「情報とロボットおよび生命」 第一回後半

人をめざし人を超えるロボットの情報学

前半 ●人をめざすロボットの情報学

後半 ●人を超えるロボットの情報学

後半A ●ロボットシステムのモデル

後半B ●ロボットシステムのスコープ1
作業内容

後半C ●ロボットシステムのスコープ2
作業対象の大きさ

後半D ●ロボットシステムのスコープ3
ロボットの大きさと広がり

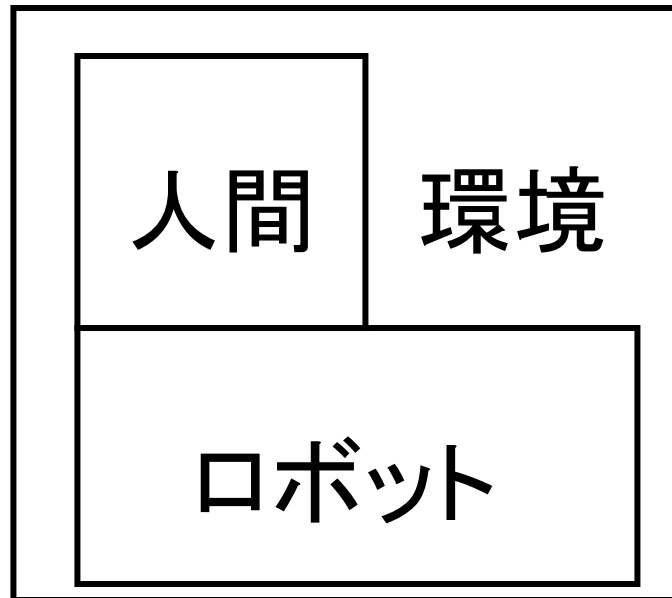
ロボットのイメージを新たにしてもらうのが目的

後半 ●人を超えるロボットの情報学

後半A ●ロボットシステムのモデル

(1980年代～2000年のロボット)

ロボットを、下のような要素から構成されるシステムとして捕らえるモデル

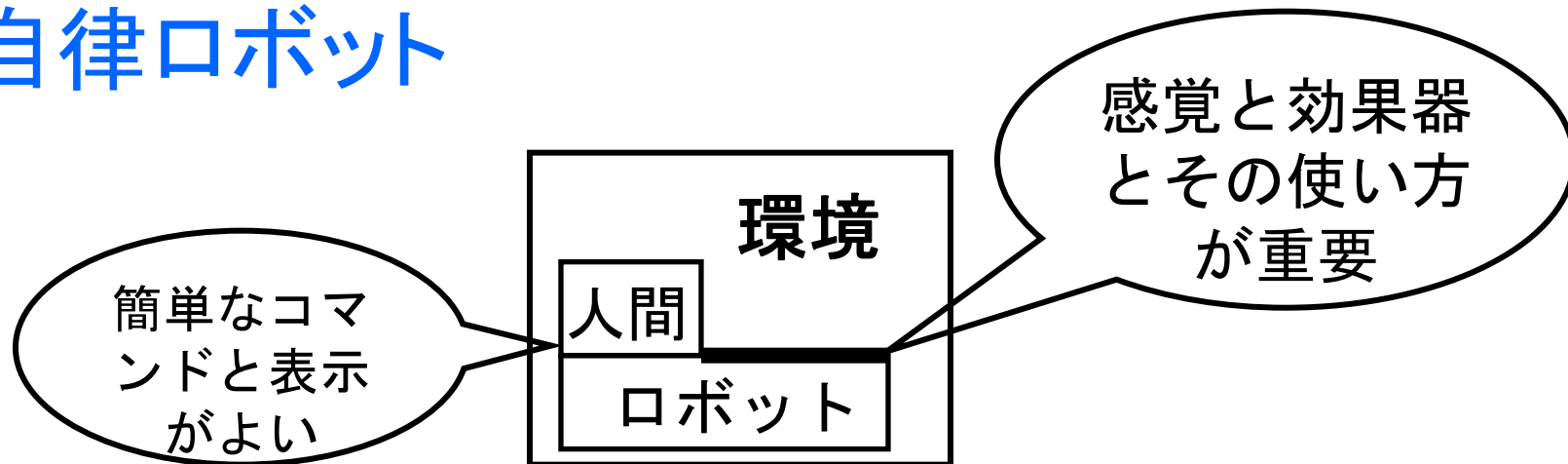


ロボットシステムのモデル

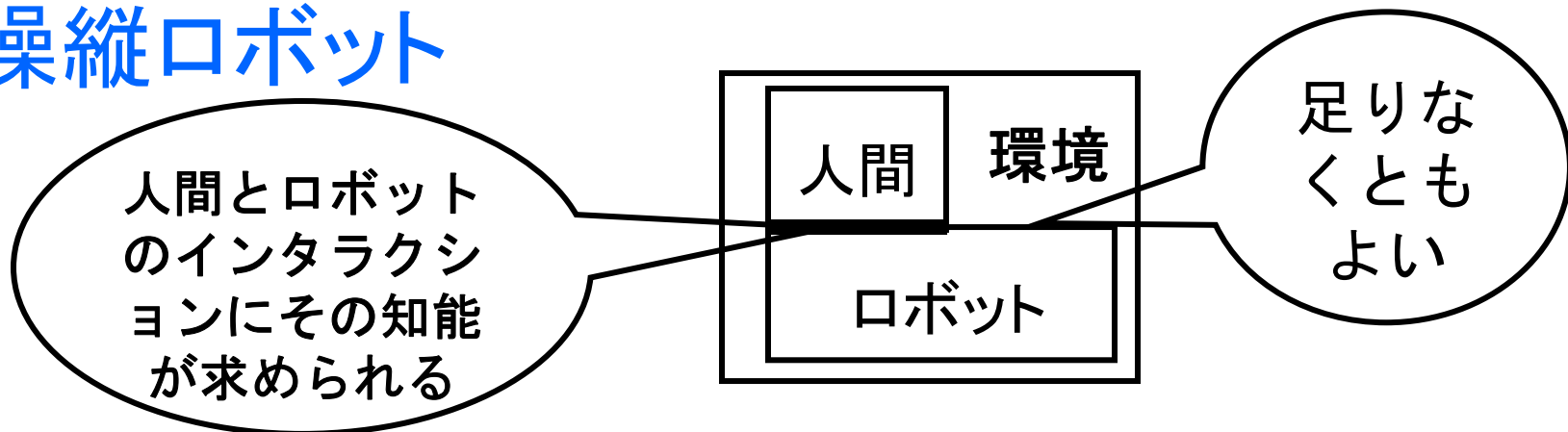
ロボットと人間、環境の関わりの違い 1/2

自律ロボットと操縦ロボット

自律ロボット



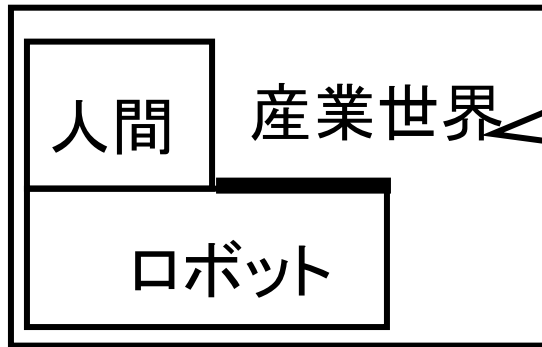
操縦ロボット



ロボットの棲む世界の違い 2/2

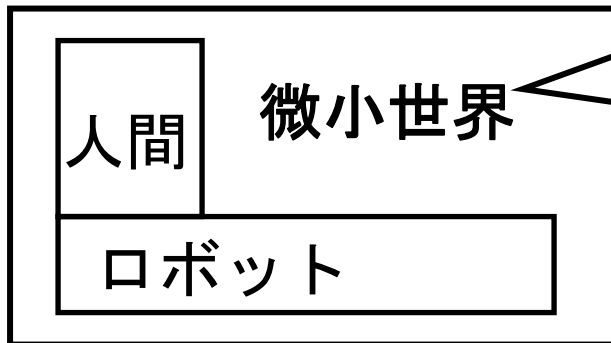
産業ロボットと微細作業ロボット

産業ロボット




マニファクチャリング世界
：信頼性・繰り返し精度が求
められる
←環境の整備が重要

微細作業ロボット



作業世界が小さい
と新たなロボット
技術が展開する：
力学が違う

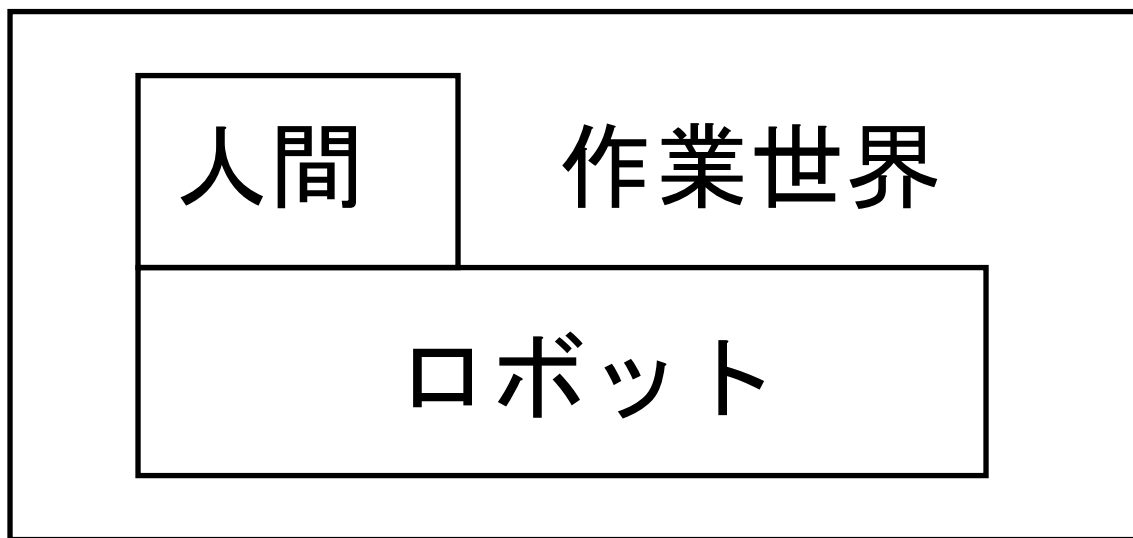
後半 ●人を超えるロボットの情報学
後半B ●ロボットシステムのスコープ1
作業内容



作業内容の観点からのスコープ

作業内容の観点からのスコープ

ロボットの作業内容の断面



我々の行為全てとそれを超えた内容
がロボットの作業対象内容になる

ロボットの働く世界の広がり

Verb 1: 作業

Analyze (分析する)

Assemble (組み立てる)

Disassemble (分解する)

Repair (修理する)

Build (建てる)

Machining (加工する)

Measure (計測する)

Operate (手術する)

Produce (生産する)

Sense (検知する)

Test (試験する)

†
ロボットの
ジャンル

参考文献：高瀬 國克

「極限作業ロボットの研究成果」
昭和60年度研究成果の概要、p13

ロボットの働く世界の広がり

Verb 2: 加工を加える動作

Punch (たたいて穴をあける)

Drill (ドリルで穴をあける)

Saw (のこでひく)

Cut (切る)

Cut-out (切り抜く)

Whet (研ぐ)

Sharpen (とがらせる)

Shave (削る)

Plane (かんなで削る)

Whittle (ナイフで削る)

Polish (みがく)

Grind (研磨する)

Weld (溶接する)

File (やすりをかける)

Squeeze (押し潰す)

Powder (粉にする)

Scratch (ひっかく)

Drive-nail (釘を打つ)

Unnail (釘を抜く)

Dig (ほる)

†

参考文献：高瀬 國克

「極限作業ロボットの研究成果」

昭和60年度研究成果の概要、p13

Verb 3: 柔軟物を操作する動作

Wash (洗う)

Squeeze (絞る)

Wind (巻く)

Tie (むすぶ)

Wire (配線する)

Spread (張る)

Bend (曲げる)

Fold (折る)

Wrap (つつむ)

Sew (縫う)

Knead (もむ)

Tear-off (はがす)

参考文献：高瀬 國克
「極限作業ロボットの研究成果」
昭和60年度研究成果の概要、p13

ロボットの働く世界の広がり

Verb 4: 集合体(液や粉)を扱う動作

Pour (注ぐ)

Paint (塗る)

Plaster (しっくいを塗る)

Spray (散布する)

Distribute (まく)

Sift (ふるいにかける)

Fill (充填する)

Lubricate (油をやる)

Stuff (ねり物をつめる)

Mix (まぜる)

Wipe (ふく)

Gather (かき集める)

Draw, Pump (沈む)

Scoop (すくう)

Ladle (柄杓ですくう)

Clean (掃除をする)

Write (書く)

ロボットの働く世界の広がり

Verb 5: 移動, 結合を変化させる動作

Transfer (運ぶ)

Throw (投げる)

Place (置く)

Put-on (のせる)

Arrange (配列する)

Lean (たてかける)

Hang (つるす)

Insert (挿入する)

Combine (結合する)

Screw (ねじ込む)

Unscrew (ねじをぬく)

Separate (分離する)

Extract (引き抜く)

Attach (取付ける)

Set (合わす)

Lock (締める)

Unlock (ゆるめる)

Pack (つめる)

Unpack (取り出す)

†

参考文献：高瀬 國克

「極限作業ロボットの研究成果」
昭和60年度研究成果の概要、p13

マニピュレーションサイエンスの世界

ロボットの働く世界の広がり

Verb 6: 単なる動きや力の作用動作

Move (動かす)

Incline (傾ける)

Pull (引っ張る)

Lift (持ち上げる)

Turn (まわす)

Twist (ねじる)

Push (押す)

Support (支える)

Shake (振る)

Vibrate (振動する)

Swing (ゆらす)

Impact (衝撃力を加える)

Strike (打つ)

Fit (あてる)

Slide (すべらす)


Grasp (にぎる)

Pick (つまむ)

Release (はなす)



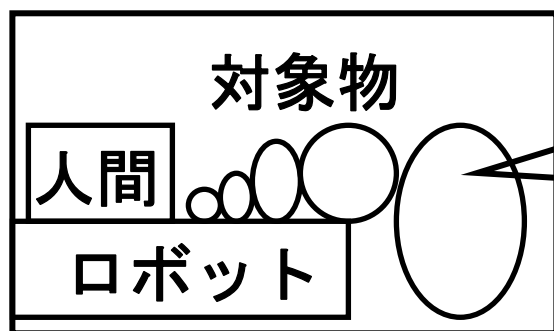
後半 ●人を超えるロボットの情報学
後半C ●ロボットシステムのスコープ2
作業対象の大きさ



対象物体サイズからのスコープ

ロボットシステムのスコープ2

扱うものの大きさの観点からのスコープ



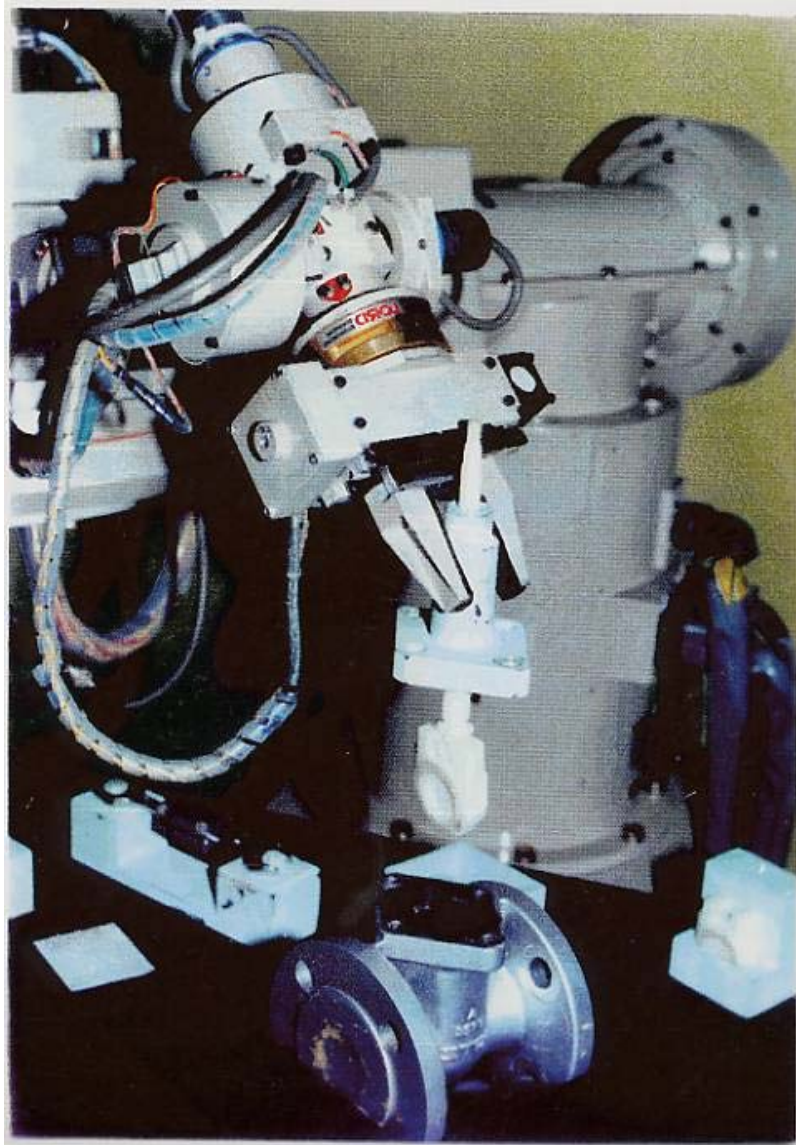
対象物体サイズの断面

作業対象のサイズとロボット

- ・究極の巨大物ハンドリングロボット
- ・宇宙ロボット
- ・産業用ロボット
- ・日常物ハンドリングロボット
- ・微細作業ロボット
- ・究極の微小物ハンドリングロボット

対象物の大きさによりシステムの構成や利用法などが異なる

日常物ハンドリングロボット

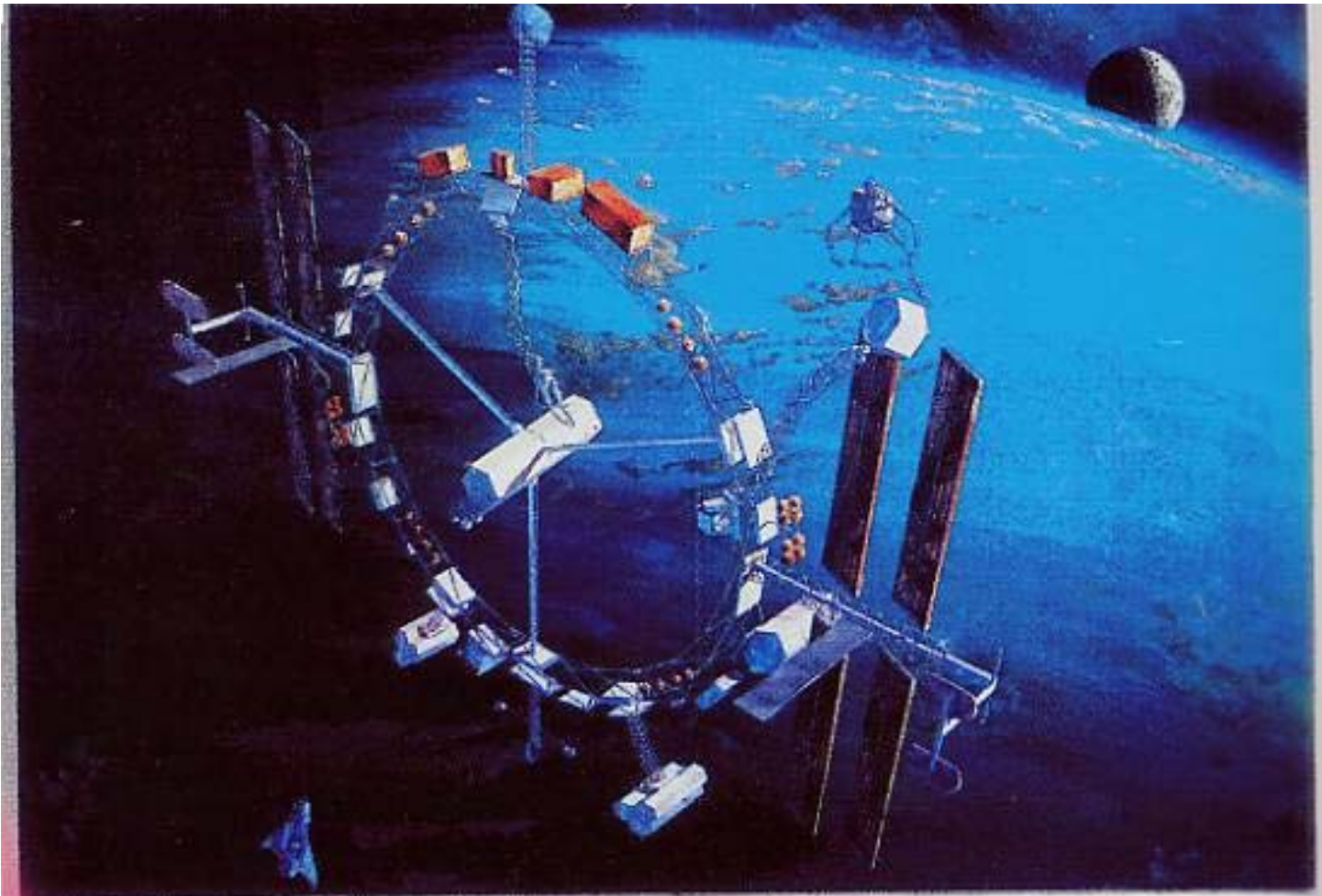


提供：
電気通信大学 高瀬 國克 教授



大きいほうへ想像をたくましくしよう

宇宙構造物ハンドリングロボット



SICE学会誌
「計測と制御」
1989年28巻12号
表紙



究極の巨大ロボット

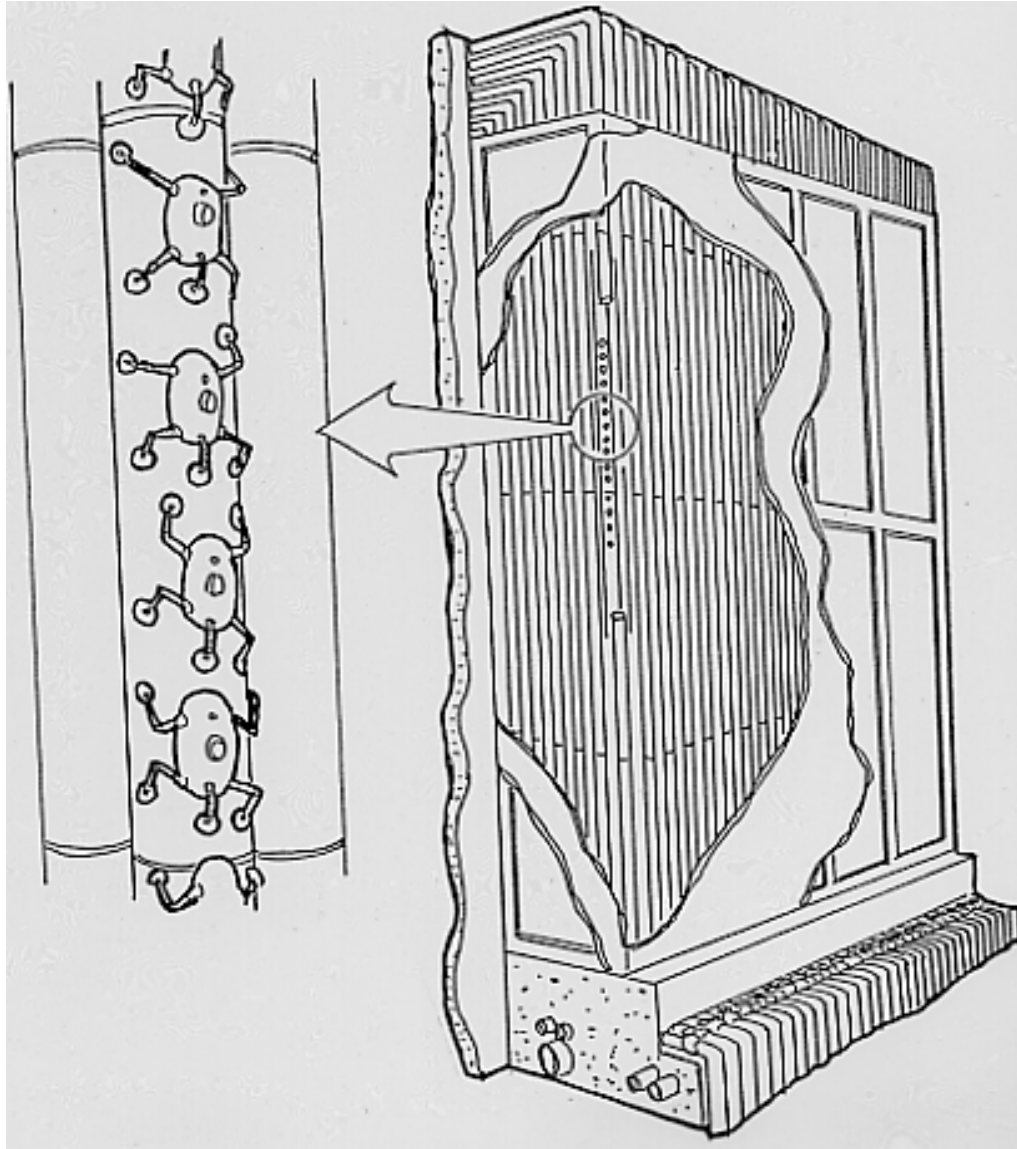


提供：
電気通信大学
高瀬 國克 教授



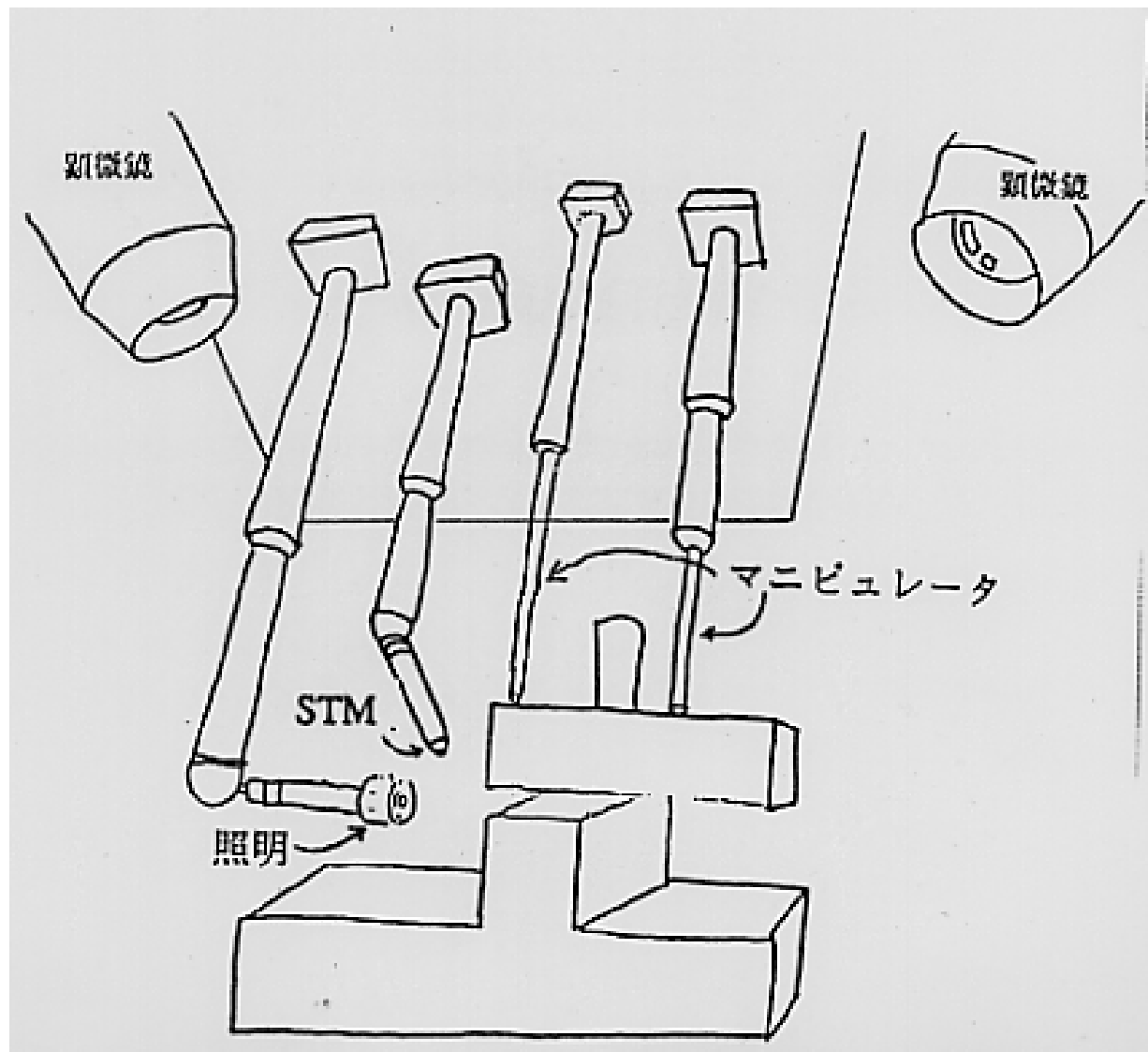
小さいほうへ想像をたくましくしよう

狭所作業ロボット

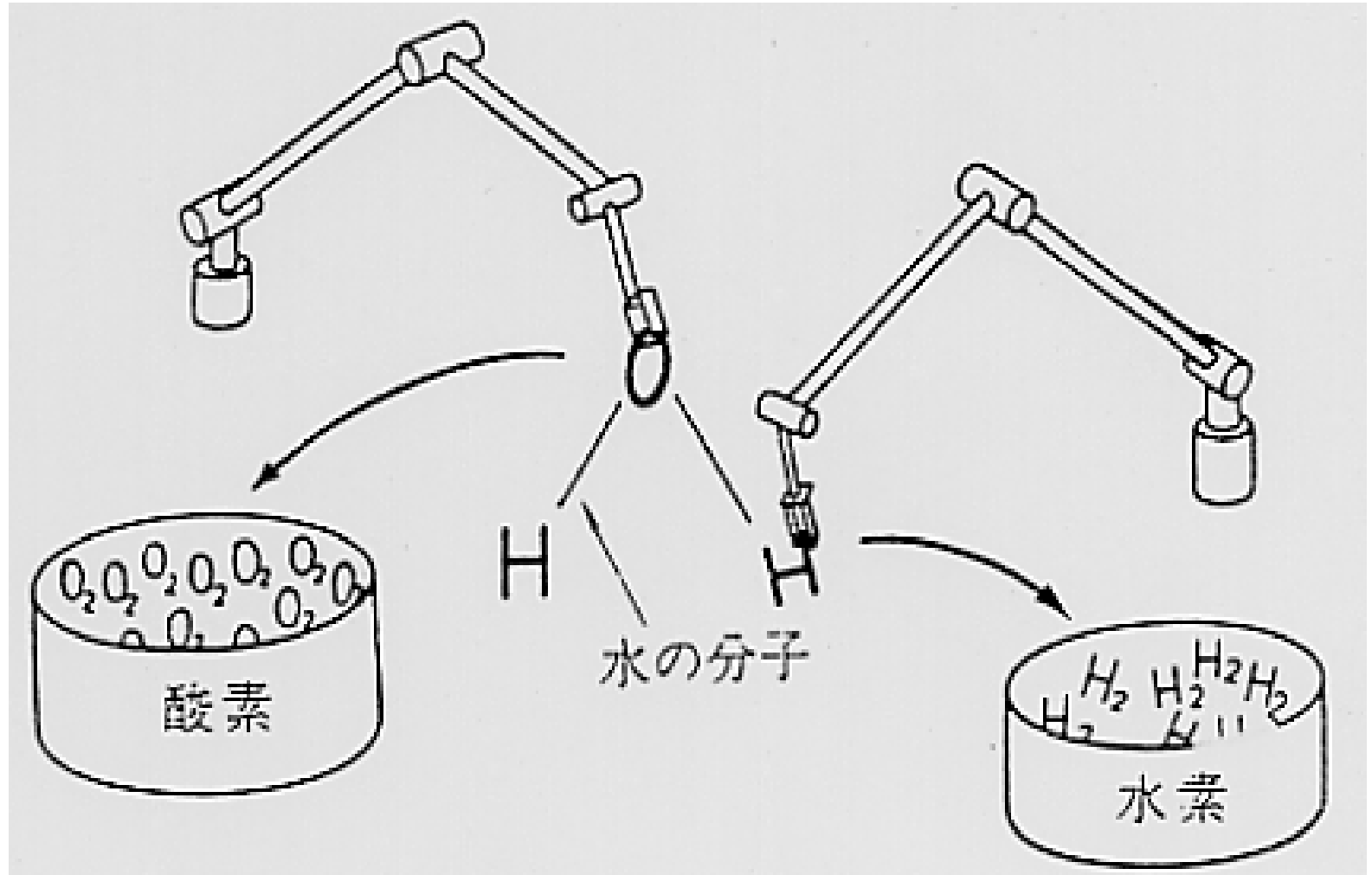


提供：
産業技術総合研究所
平井 成興 様

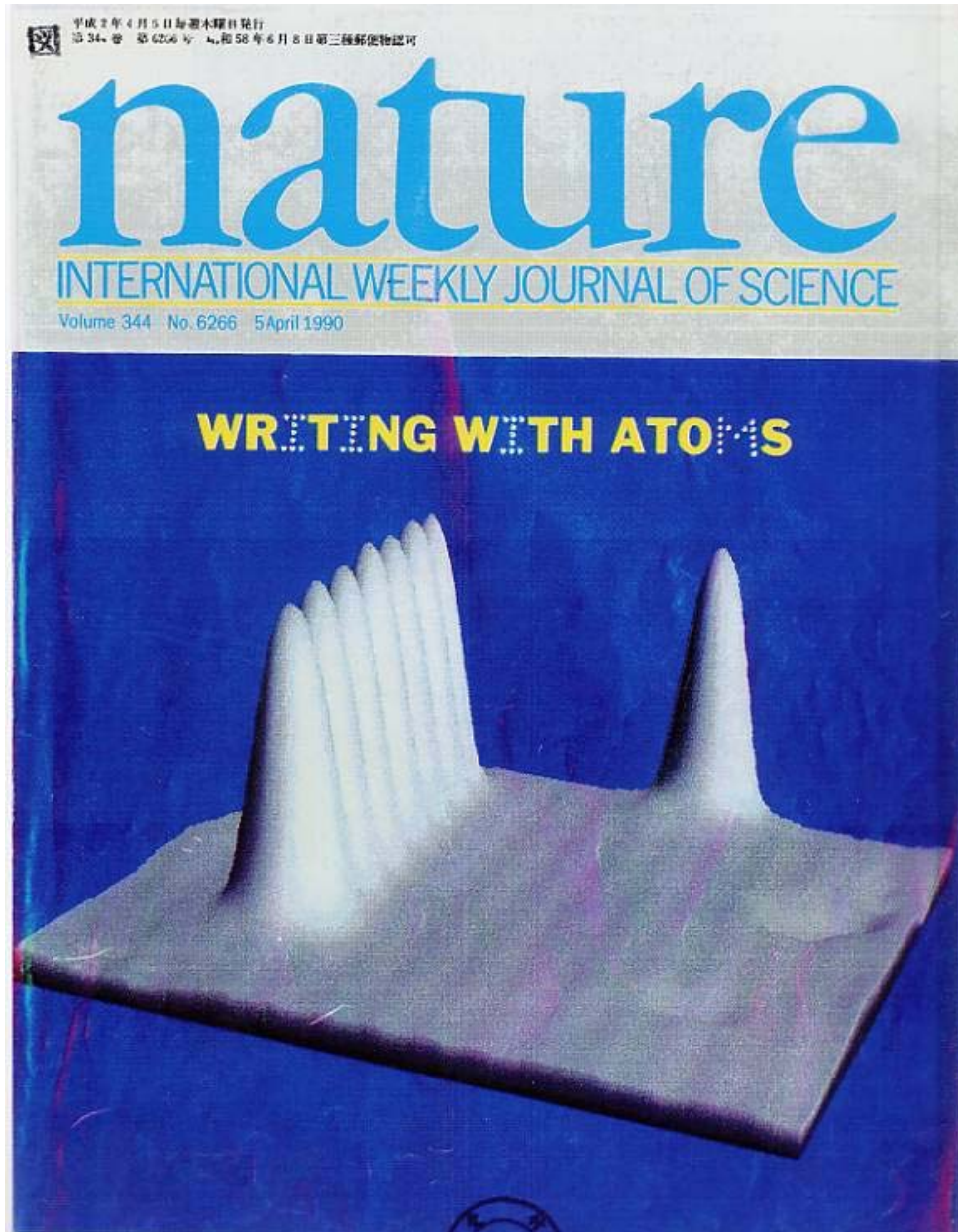
微細作業ロボット



究極の微小物 ハンドリングロボット



Natureの表紙（1991年4月）



Natureからの写真 世界最小の名刺

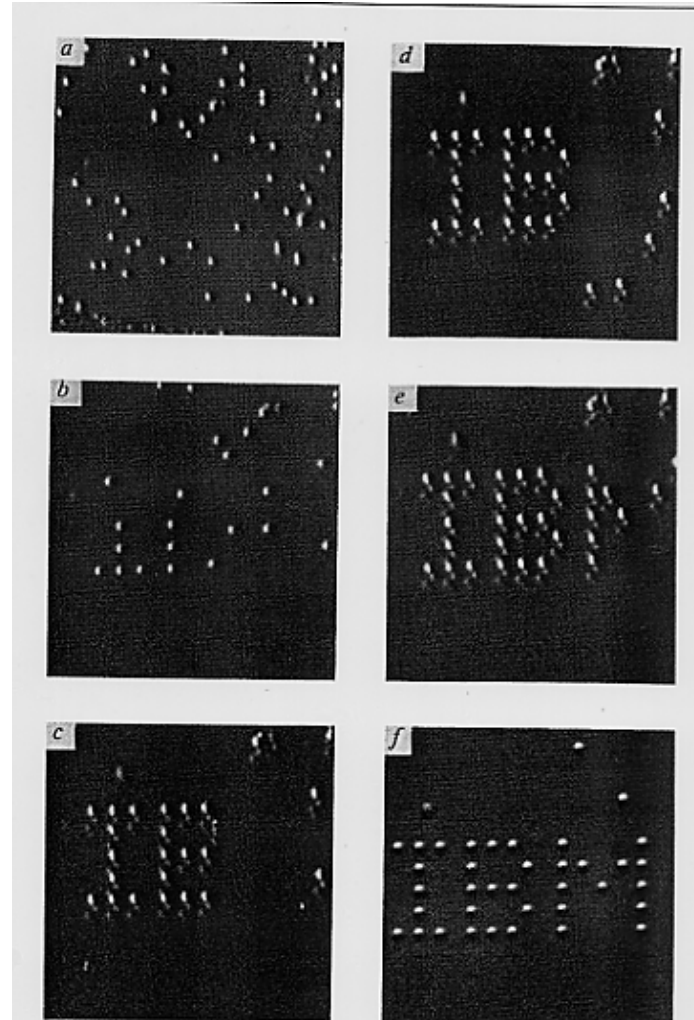


FIG. 1 A sequence of STM images taken during the construction of a patterned array of xenon atoms on a nickel (110) surface. Grey scale is assigned according to the slope of the surface. The atomic structure of the nickel surface is not resolved. The $(\bar{1}\bar{1}0)$ direction runs vertically. *a*. The surface after xenon dosing. *b-f*. Various stages during the construction. Each letter is 50 Å from top to bottom.

D. M. Eigler, & E. K. Schweizer,
Positioning single atoms with a
scanning tunnelling microscope.
Nature 344, 524 - 526 (05 Apr 1990)

Fig.1



Natureからの図 原子操作法

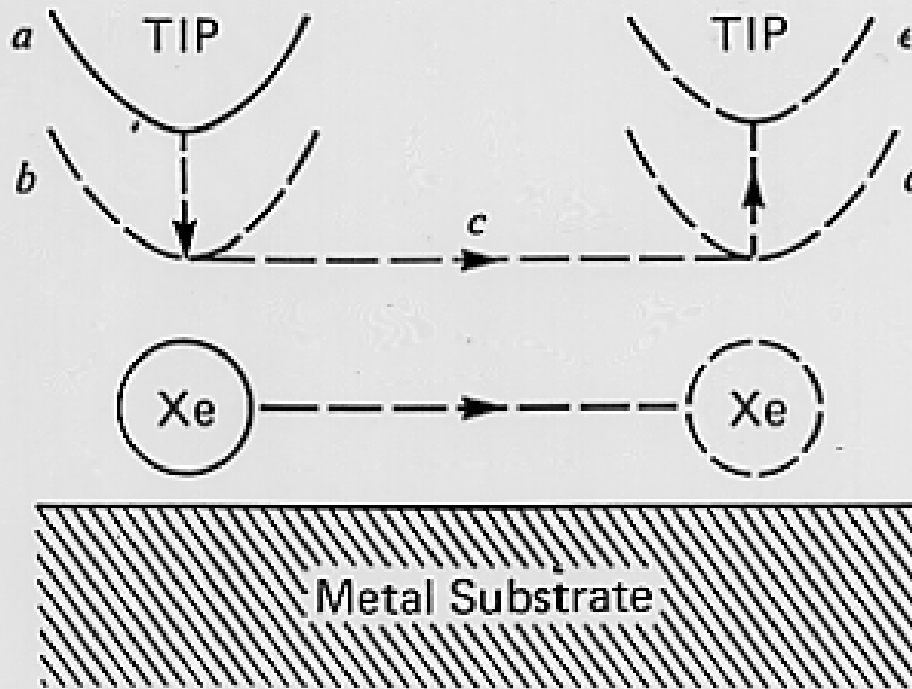
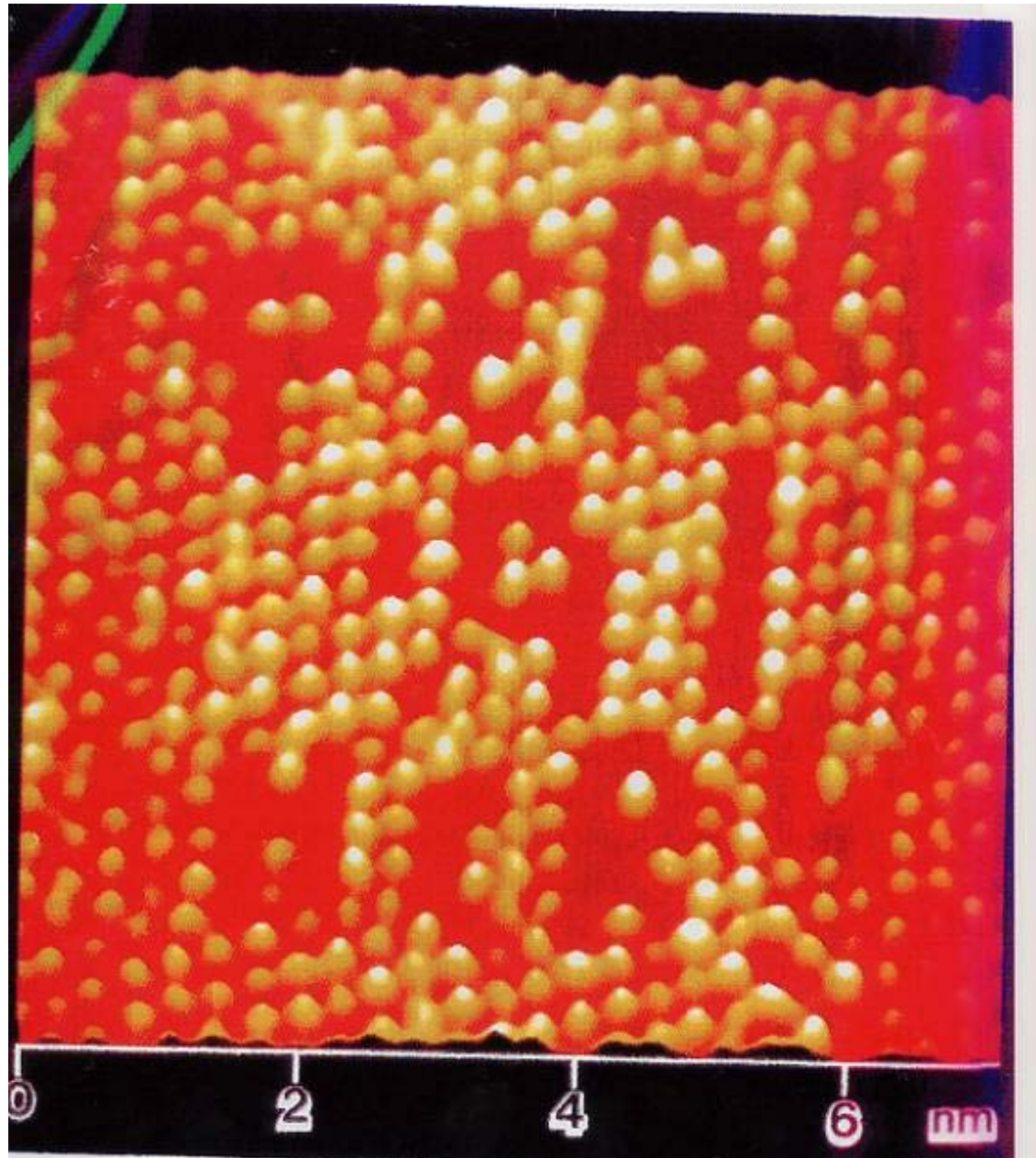


FIG. 2 A schematic illustration of the process for sliding an atom across surface. The atom is located and the tip is placed directly over it (a). The tip is lowered to position (b), where the atom-tip attractive force is sufficient to keep the atom located beneath the tip when the tip is subsequently moved across the surface (c) to the desired destination (d). Finally, the tip is withdrawn to a position (e) where the atom-tip interaction is negligible leaving the atom bound to the surface at a new location.

NATURE · VOL 344 · 5 APRIL 1990

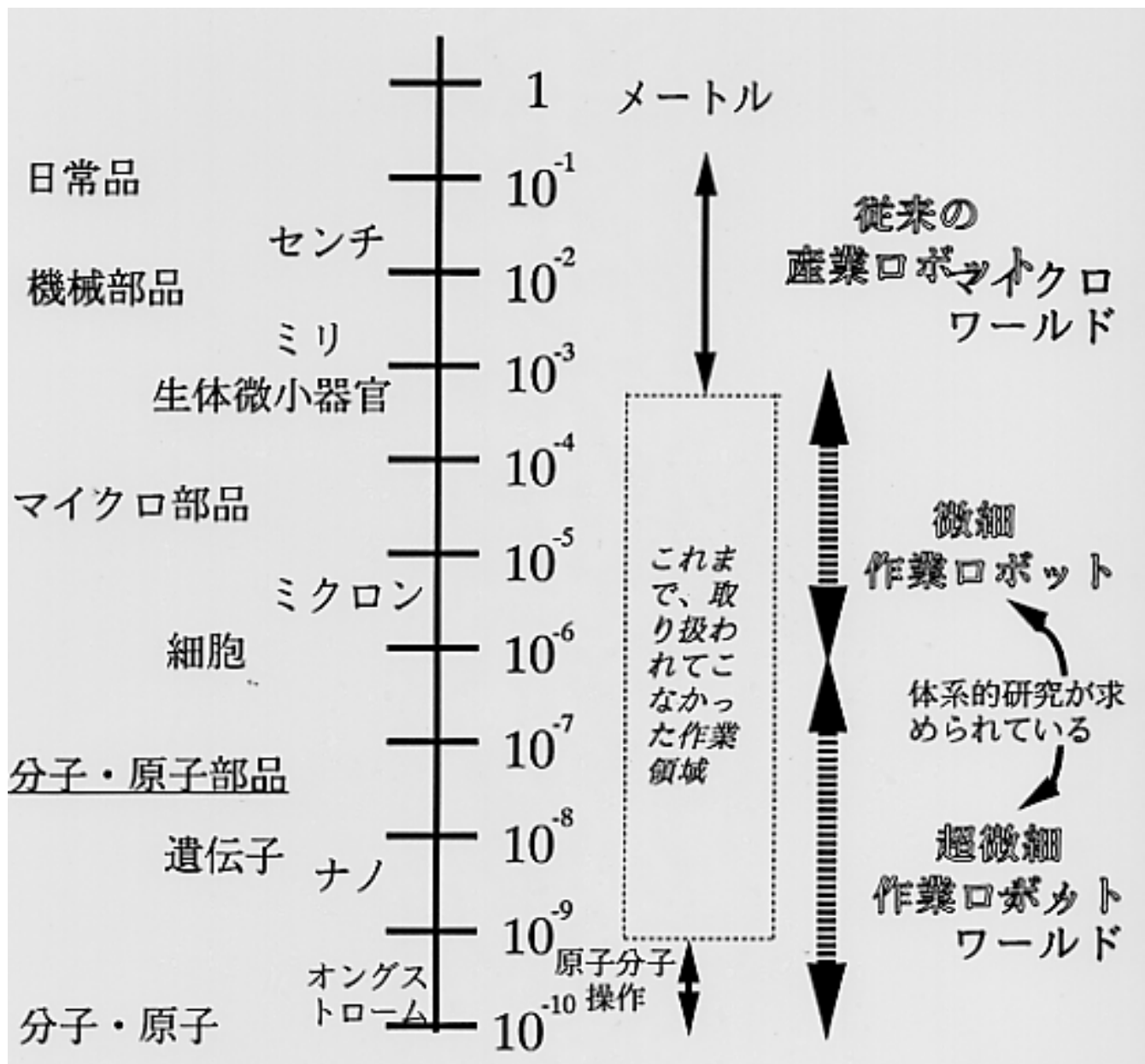
D. M. Eigler, & E. K. Schweizer, Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. Nature 344, 524 - 526 (05 Apr 1990) Fig.2

日立製作所の文字



提供：
日立製作所中央研究所

対象の大きさと作業ロボット



マニピレーション作業の世界

Verb1 : 作業

Analyze (分析する)
Assemble (組み立てる)
Disassemble (分解する)
Repair (修理する)
Build (建てる)
Machining (加工する)
Measure (計測する)
Operate (手術する)
Produce (生産する)
Sense (検知する)
Test (試験する)

Verb2 : 加工を加える動作

Punch (たたいて穴をあける)
Drill (ドリルで穴をあける)
Saw (のこでひく)
Cut (切る)
Cut-out (切り抜く)
Whet (研ぐ)
Sharpen (とがらせる)
Shave (削る)
Plane (かんなで削る)
Whittle (ナイフで削る)
Polish (みがく)
Grind (研磨する)
Weld (溶接する)
File (やすりをかける)
Squeeze (押し潰す)
Powder (粉にする)
Scratch (ひっかく)
Drive-nail (釘を打つ)
Unnail (釘を抜く)
Dig (ほる)

Verb3 : 柔軟物を操作する動作

Wash (洗う)
Squeeze (絞る)
Wind (巻く)
Tic (むすぶ)
Wire (配線する)
Spread (張る)
Bend (曲げる)
Fold (折る)
Wrap (つつむ)
Saw (縫う)
Knead (もむ)
Tear-off (はがす)

Verb 4 : 集合体 (液や粉) を扱う動作

Pour (注ぐ)
Paint (塗る)
Plaster (しっくいを塗る)
Spray (散布する)
Distribute (まく)
Sift (ふるいにかける)
Fill (充填する)
Lubricate (油をやる)
Stuff (ねり物をつめる)
Mix (まぜる)
Wipe (ふく)
Gather (かき集める)
Draw, Pump (沈む)
Scoop (すくう)
Ladle (柄杓ですくう)
Clean (掃除をする)
Write (書く)

Verb5 : 移動、結合を変化させる動作

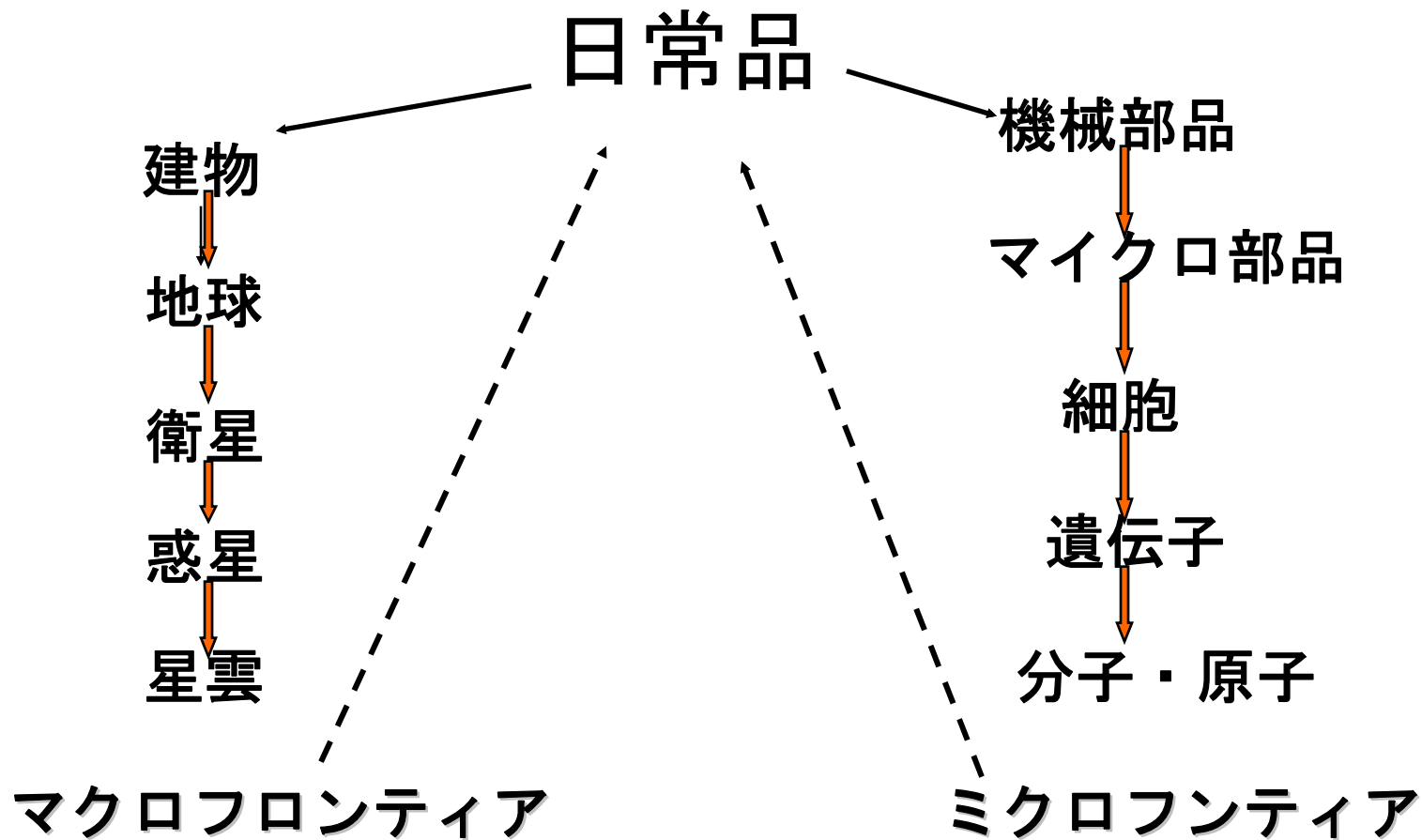
Attach (取付ける)
Arrange (配列する)
Combine (結合する)
Deposit, Pile (積む)
Extract (引き抜く)
Fly (飛ばす)
Hang (つるす)
Insert (挿入する)
Interconnect (結合する)
Lean (たてかける)
Lock (締める)
Pack (つめる)
Place (置く)
Pull (引っ張る)
Put-on (のせる)
Rotate (回す)
Screw (ねじ込む)
Set (合わす)
Separate (分離する)
Transfer (運ぶ)
Throw (投げる)
Unscrew (ねじをぬく)
Unlock (ゆるめる)
Unpack (取り出す)

Verb 6 : 単なる動きや力作用動作

Move (動かす)
Incline (傾ける)
Pull (引っ張る)
Lift (持ち上げる)
Turn (まわす)
Twist (ねじる)
Push (押す)
Support (支える)
Shake (振る)
Vibrate (振動する)
Swing (ゆらす)
Impact (衝撃力を加える)
Strike (打つ)
Fit (あてる)
Slide (すべらす)
Grasp (にぎる)
Pick (つまむ)
Release (はなす)

これらのマイロ、ナ領域での作業世界が、さらに、これらを巨大領域で実現する世界もロボットにある

ロボットの扱う対象物体の大きさ



人にできない事をする事が大事

ここにあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

人のやらない分野
に新天地がある

人にできない事をするのが大事 1/3

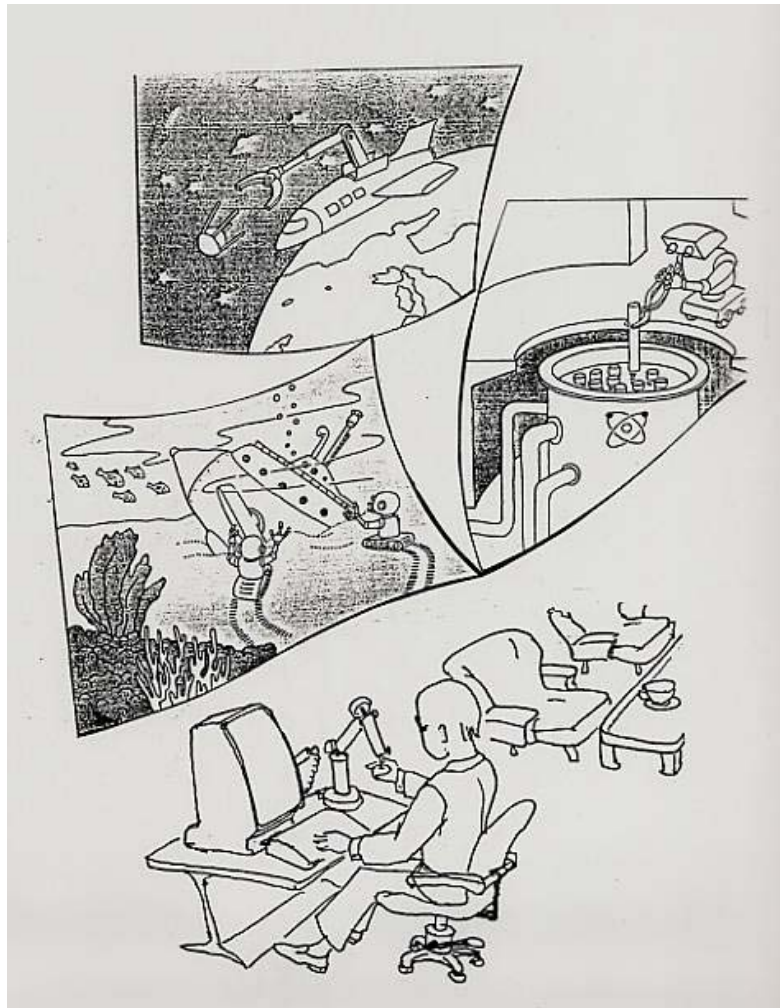
産業ロボット

ここにあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

同じ作業を正確
に繰り返す

人にできない事をするのが大事 2/3

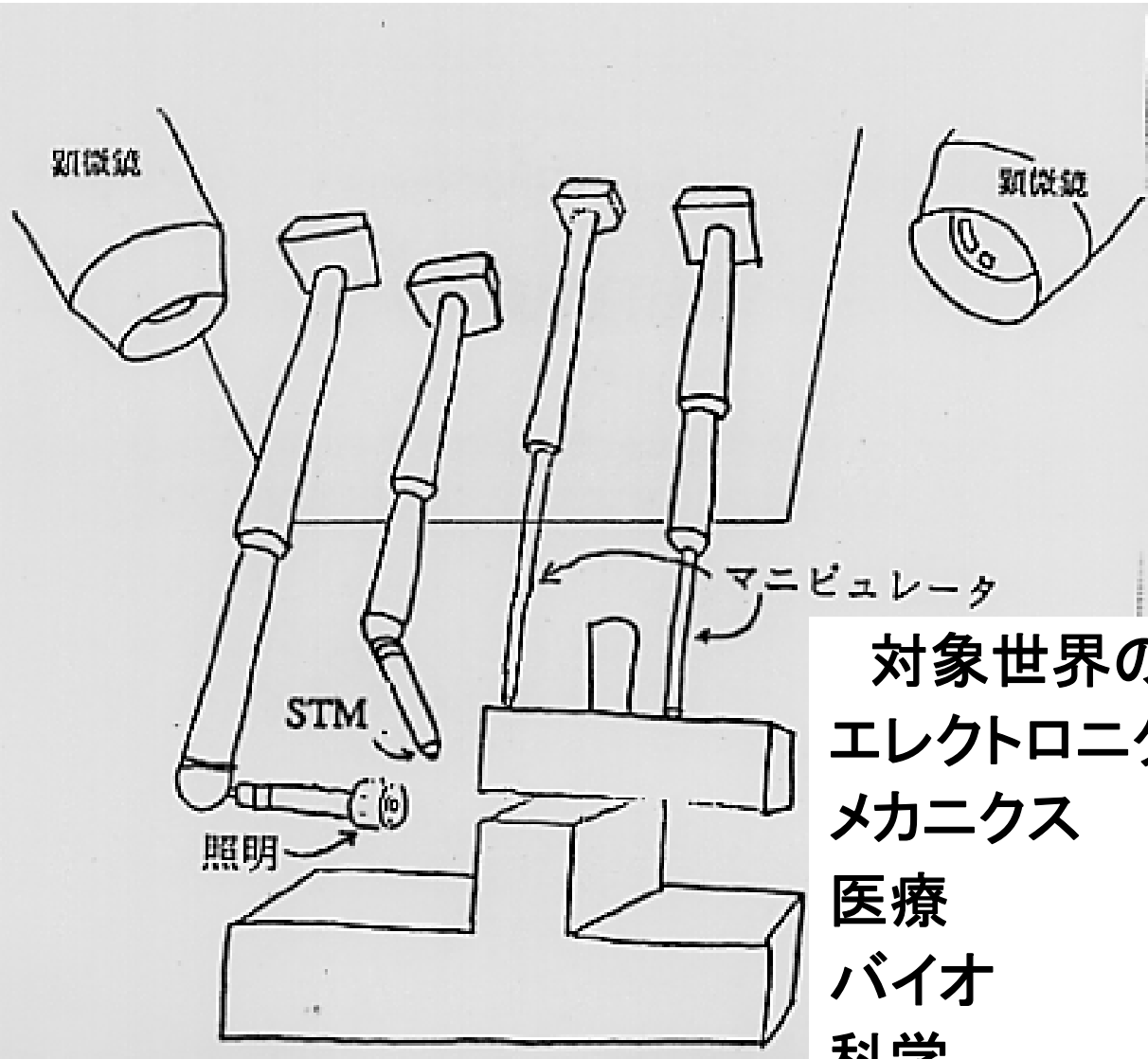
極限作業ロボット (1980年代～)



人のゆけない環境で作業する

人にできない事をするのが大事 3/3

微細作業ロボット (1990年代~)




提供：産業技術総合研究所
平井 成興 様



対象世界の微小化
エレクトロニクス パタンの微細化
メカニクス 構造の微細化
医療 治療の低侵襲, 精密化
バイオ 細胞内小器官の対象化
科学 対象世界の微小化

後半 ●人を超えるロボットの情報学
後半D●ロボットシステムのスコープ 3
ロボットの大きさと広がり

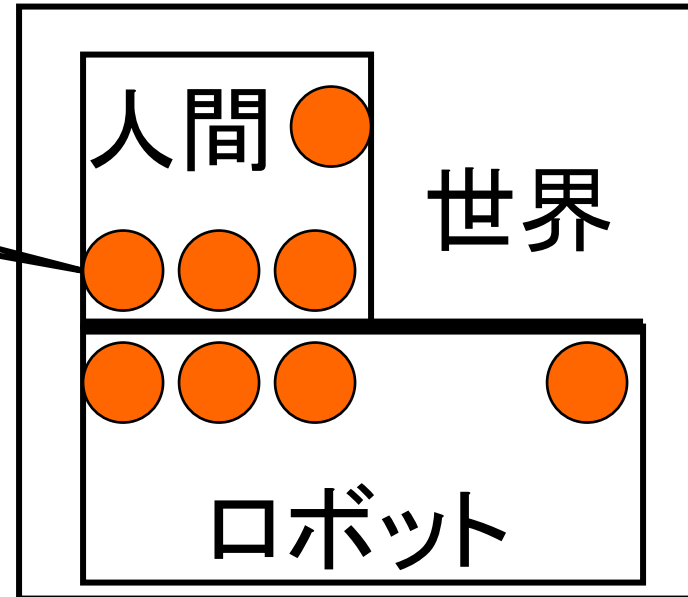


ロボットのサイズと広がりからのスコープ

ロボットシステムのスコープ3

ロボットの数の観点からのスコープ

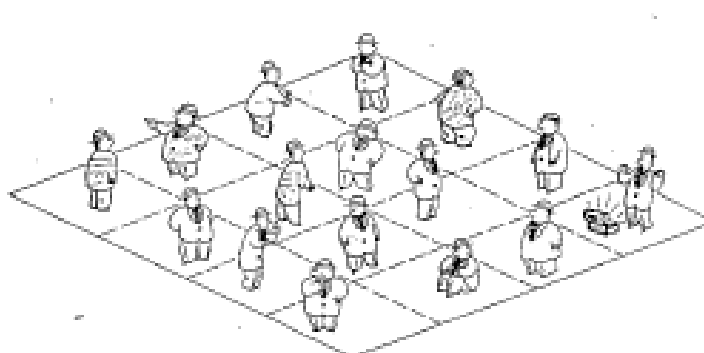
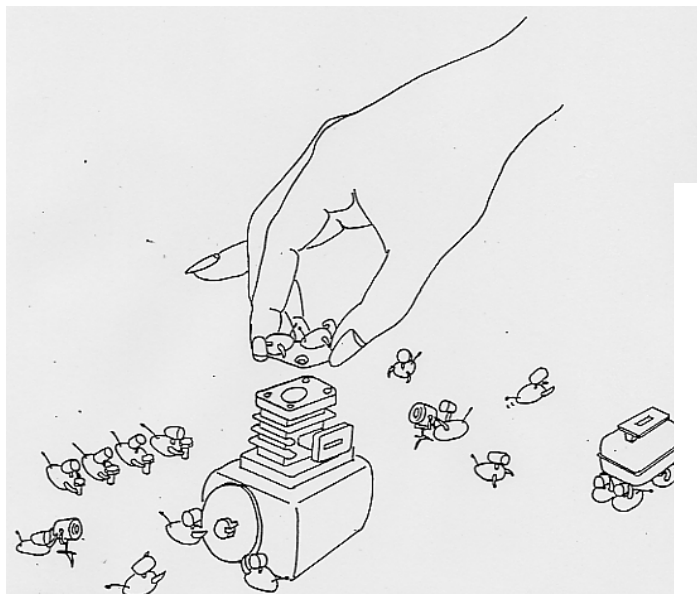
ロボット数
の断面



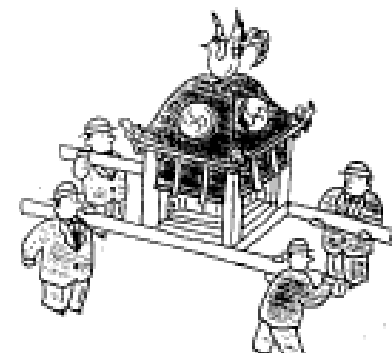
- ・単体で作業するロボット
産業用ロボット
- ・複数で作業するロボット
両腕協調
3本指
5本指
マルチロボット(群ロボット)
環境型ロボット
ネットワークロボット

人間やロボットの
数がシステムの
性格を変える

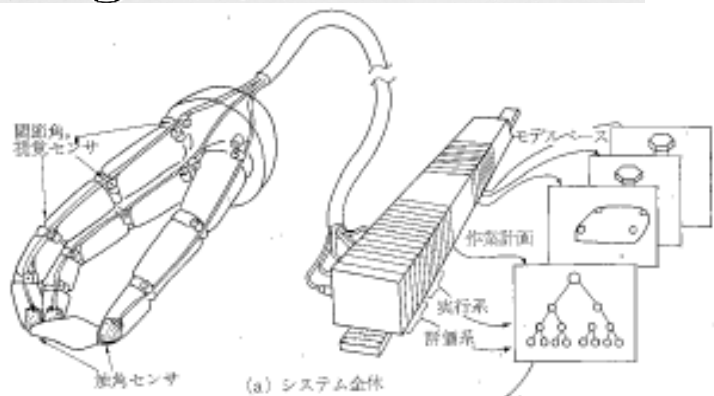
マルチロボットシステム



(a) 宝探し (分枝探索)



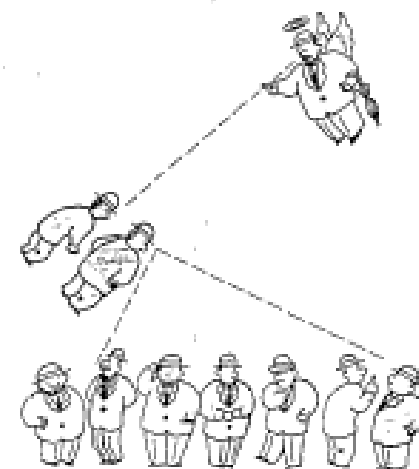
(b) 御開かつぎ (探索計画)



(a) システム全体



(c) バケツドレー (探索処理)



実門役と員村役 (階層的監視)



提供：電気通信大学 高瀬 國克 教授

マルチロボット システムのメリット

ネットワーク化されるデジタル家電群

ネットワーク化される

人とより密接に関わる機械や電子機器

ユーザ、メーカ、電力会社

ここにあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。

にとってメリット

ご了承ください。

なくてはならないもの
あれば便利なもの

ロボットと人の接触界面

人間とさまざまに接するロボットの世界

- ・侵襲界面：体の中や神経における人間・ロボットの研究
（神経・ロボット界面研究、脳・ロボット界面研究）
医療ロボット→高度医療として使う
- ・体の表面－人体接触における人間・ロボットの界面研究
（身体接触界面、人間・外骨格ロボット界面）
- ・個体距離－生命体としての人間・ロボットの界面研究
（個体距離界面、人間・ヒューマノイド界面）
- ・社会距離－人をとりまく環境における人間・ロボットの界面研究
（環境界面研究、人間・ユビキタスロボット界面研究、
ロボット社会科学研究、社会知能研究）

人の生涯にわたって働くロボットの世界

- 胎児期 : 母子を見守り(見守りロボット)、いつくしみながら母親の社会活動を手助けするロボット
(荷物運びロボット、パワーアシストロボット)
- 乳児期 : 経験の少ない夫婦を助け、母親の社会参画を促進するロボット(子守りロボット)
- 幼児期 : 幼児の育児(育児ロボット)と、働きに戻り始めた親を助けるロボット(家事支援ロボット)、
- 学童期 : 自分の社会を作り始める手助けや、学習の手助けができるロボット(ネットワークロボット)
安全な通学を可能とするロボット(自販機なども動員したシステム)
- 思春期 : 社会に目を開かせることができるロボット(コミュニケーション支援ロボット)
- 青年期 : 暴走しないようにたしなめるロボット(友達ロボット)
- 独身期 : 若い人が熱中するホビーロボット、高級感への欲求を満たすグッズロボット
- 保護者期: 家族をつなぐロボット、社会に対しての家庭のまとまりを作るロボット(家族ロボット)
-
- 壮年期 : 家事や仕事を助けるロボット
家事支援(掃除、洗濯、**食事後片付け(After Tea, After Breakfast...)**ロボット
労働力不足を補う産業ロボット(ロボット化セル生産システム)
- 介護期 : **介助、介護する人の手助けロボット**(2名で一人の高齢者をみる支援をする介助介護ロボット)
- 初老期 : 人生的生理変調変化克服を助け、疲れなどを和らげてくれるロボット(パワーアシストロボット)
- 退職期 : 第二の人生の新しい生活を活性化し管理してくれるロボット(脳内活性化ロボット)
- 老夫婦期 : 孫の存在のように生きがいを与えてくれるロボット(メンタルコミットメントロボット)、
健康を互いに気遣ってくれるロボット(インテリジェントルーム、インテリジェントベッド)
- 独居老人期 : 一人になっても長く自律できる生活を手助けしてくれるロボット(身の回り支援ロボット)
- 被介護期 : 自分はどのように介護して欲しいかを知り、介護者へ伝え助けるロボット(情報端末ロボット)
- 死後伝達期: 残された家族や次世代社会のため、故人の言動、得た情報などを記録・継承するロボット
(行動記録・社会遺産継承ロボット)

Robot Indexで想像するロボットのいる世界

●ロボット対人数 (Robot Attendance Index)

現状 $35.6\text{万台}/1.2\text{億人} = 2.8 \times E-2$
(産業用ロボットのみの場合、日本ロボット工業会)
車なみ $\rightarrow 7470\text{万台}/1.2\text{億人} = 0.59\text{台/人}$
車載搭載CPUなみ $\Rightarrow 30 \times 0.59 = 17.6\text{台/人}$ (組合せ 数爆発)

●ロボット密度 (Robot Density Index)

現状 $35.6\text{万台}/370000\text{m}^2 = 1\text{台/Km}^2$
車なみ (20年後) $\rightarrow 7470\text{万台}/370000\text{m}^2 = 200\text{台/Km}^2$
車載搭載CPUなみ $\Rightarrow 30 \times 200 = 6000\text{台/km}^2$ (組合せ 密度爆発)

●ロボット支援時間割合 (Robot Support-time Index)

車なみ $10\text{分}/(24 \times 60\text{分}) = 0.7\% /\text{day}$
PCなみ $\rightarrow 72\text{分}/(24 \times 60\text{分}) = 5\% /\text{day}$
ユビキタス化 $\rightarrow 720\text{分}/(24 \times 60\text{分}) = 50\% /\text{day}$

人を超えるロボット(1980~2000年)まとめ

人を超えるロボット(1980年代~):

人の作業能力を凌駕することをめざしたロボットとその情報学

・背後にある考え方:

宇宙や海洋、原子力発電所内、微小世界など、人には入れない環境で、人にできない作業を実施させる方向性で、人を超える能力をもつロボットが研究された。

・実現されたロボットの姿:

極限環境下で働ける知的遠隔作業ロボットなどが実現されるとともに、世界の幾何モデルをもつことで、それからロボットハンドをどのように動かしたらよいのかを計画できる知能ロボットの研究や、環境の複雑性がロボットに知能を与えるという観点からの知能ロボットの研究が展開をみせた。

・それを可能にしている技術:

モデルベースロボティクス、サブサンクションアーキテクチャロボット技術

人と共棲するロボットの時代へ (2000年代)

まとめにかえて1

「情報とロボットおよび生命」第一回

人をめざし人を超えるロボットの情報学

前半 ●人をめざすロボットの情報学

前半A ●知能ロボットの歴史(1960年~70年代)

前半B ●知能ロボットの歴史(1970年~80年代)

ロボット技術の展開を実感してもらう

後半 ●人を超えるロボットの情報学

後半A ●ロボットシステムのモデル

後半B ●ロボットシステムのスコープ1

作業内容

後半C ●ロボットシステムのスコープ2

作業対象の大きさ

後半D ●ロボットシステムのスコープ3

ロボットの大きさと広がり

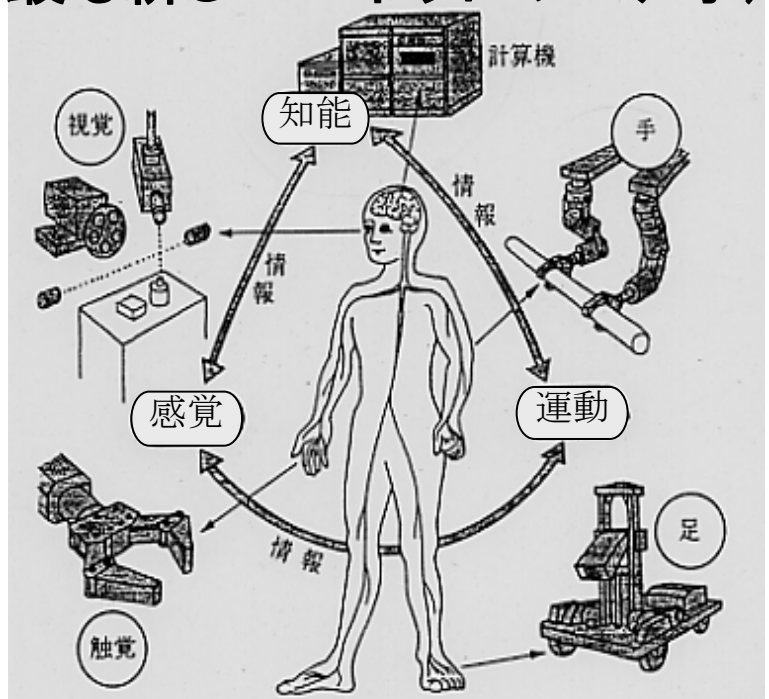
ロボットのイメージを新たにしてもらう

まとめにかえて2

情報とロボットおよび生命

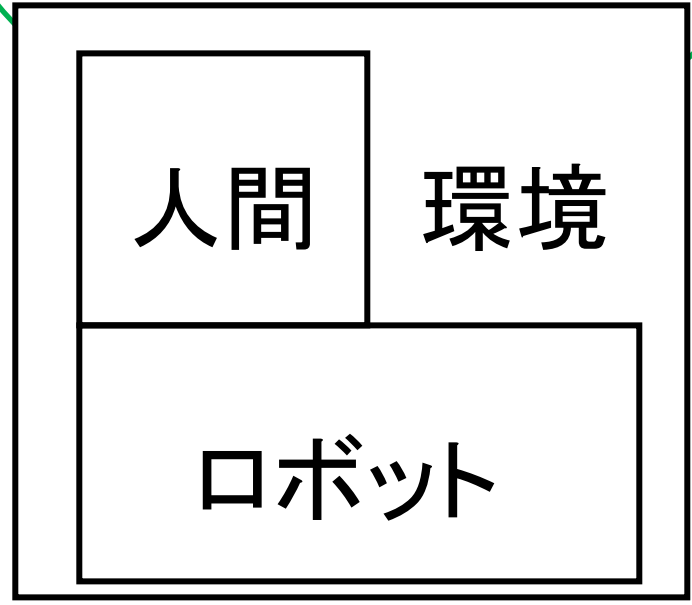
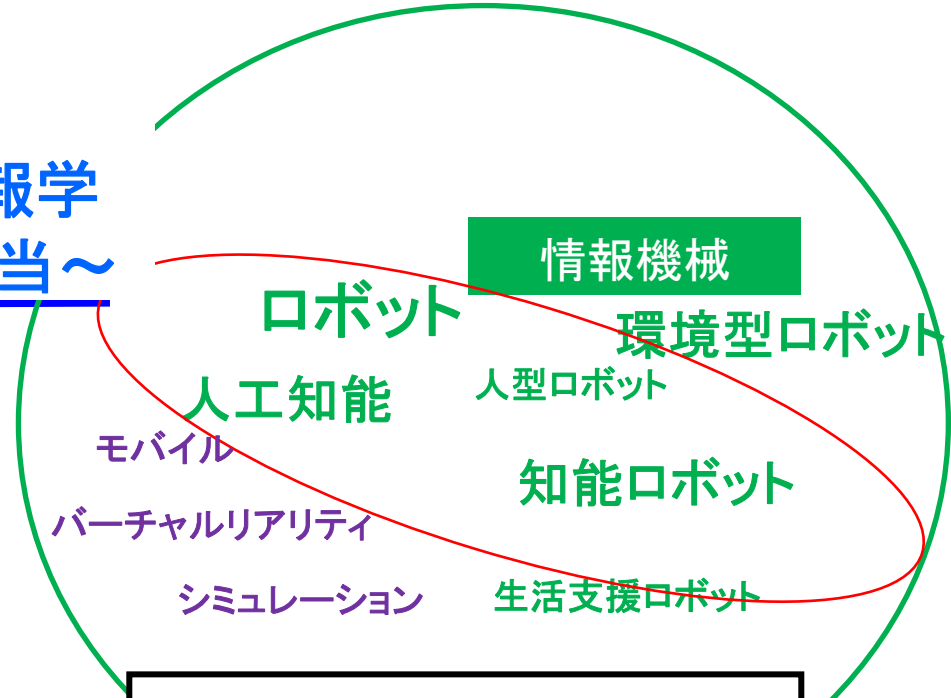
人をめざし人を超えるロボットの情報学 ～佐藤知正担当～

知能ロボットの歴史 (1960年代～2000年までと、 最も新しいロボットのビデオ)



若松清司・佐藤 知正共編 「知能ロボットー次世代の
ロボット技術ー」昭和59年 オーム社 4ページ図1・2

See-Plan-Doモデル
→ロボット技術の展開



人ーロボットー環境モデル
→ロボットの広がり

Fin