産業ロボットのための3次元ビジョン
～研究開発から社会実装へ～

立命館大学情報理工学部教授
株式会社三次元メディア代表取締役
東京大学佐藤知正研究室客員研究員
徐　剛

略歴

- 82年　中国の東南大学を卒業し、 83年に来日、阪大に
- 89年3月 大阪大学基礎工学研究科修了、工学博士
- 90年4月　大阪大学基礎工学部助手、93年4月に講師
- 94年2～8月　ハーバード大学客員研究員
- 96年4月 立命館大学理工学部助教授
- 99年9～3月 マイクロソフトアジア研究所客員研究員
- 00年4～9月 モトローラ豪州研究センター客員研究員
- 00年12月　三次元メディア社を設立、社長
- 01年4月　立命館大理工学部教授
- 12年10～3月　3度目サバティカルで東大に月1･2回滞在
- 著書:「Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition: A Unified Approach」(Kluwer, 96)、「3次元ビジョン」(共立出版, 98)、「写真から作る3次元CG」(近代科学社, 2001)

株式会社三次元メディア概要

- 概要
  - 設立：2000年12月20日
  - 従業員：17人（今年5月20人）
  - 登記資本金：99.8百万円
- 所在地
  - 本社：滋賀県草津市、京都駅から20分
- 事業内容
  - ３次元ロボットビジョンセンサ「TVS」開発販売
  - TVSをベースにしたソリューション提供

技術と事業領域の変遷

ロボットビジョン

3次元物体認識

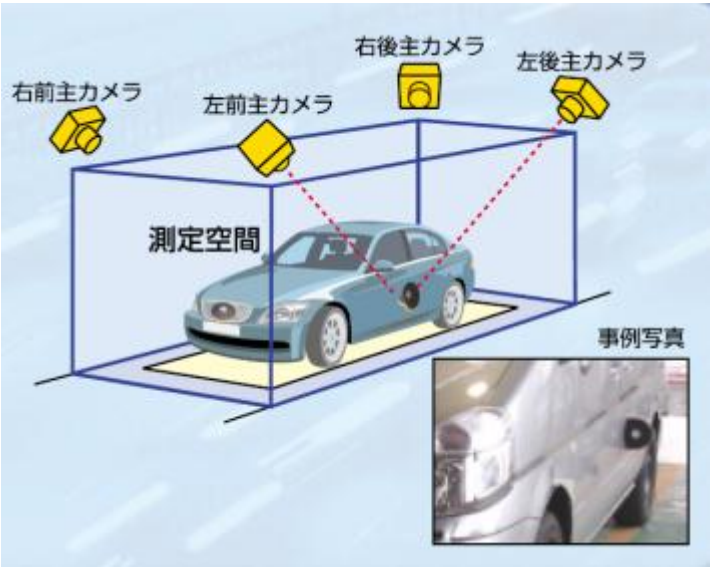
我々が先行できる、より大きな市場を探し求め、ロボットビジョンの研究開発を08年開始

より大きな市場を求め、高精度3次元計測の研究開発を04年開始

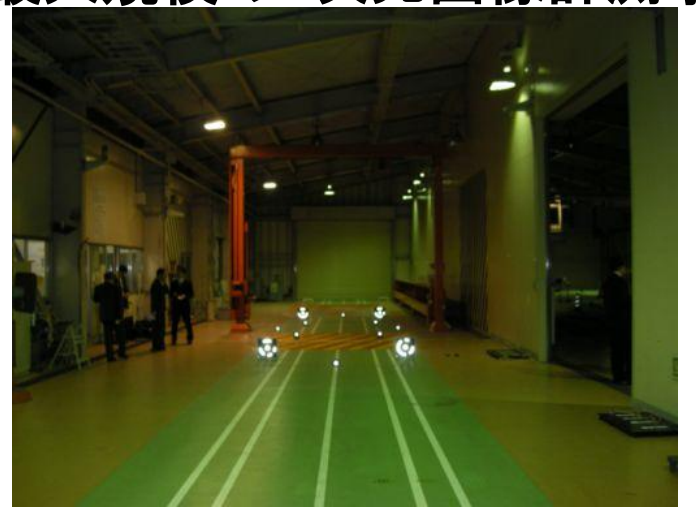
3次元画像計測

3次元モデリング

実績例（NECと共同開発）
～車検場での車体計測（車検証記載事項）



- 4台のカメラでインライン計測
- 最長12mの車両の車長・車幅・車高等を±10mm以内の精度
- 全国の自動車検査場に設置
- 国内最大規模の3次元画像計測事例か



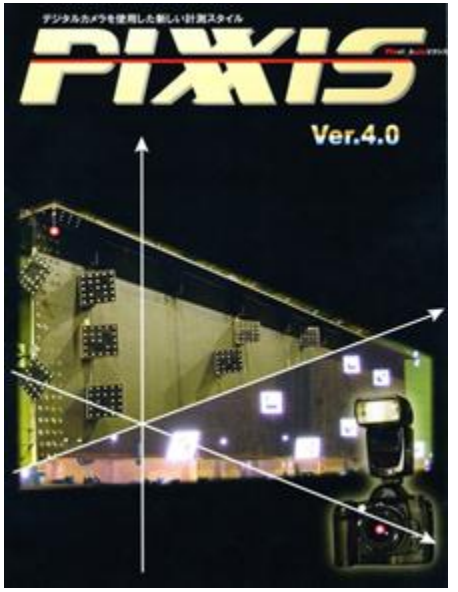
- ターゲット使用
- 簡便な校正
- 簡単運用のノウハウ

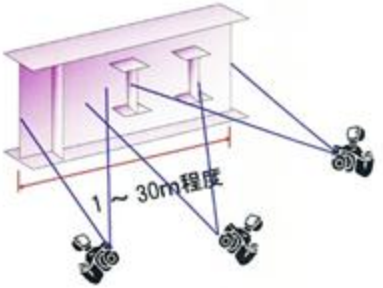
実績例（オムロンにライセンス）
～3次元画像センサの高精度キャリブレーション

- オムロンは、2007年10月に3次元ビジョンセンサ「FZD」を市場に投入
- オムロンの伝統的マシンビジョン技術と三次元メディアの高精度3次元技術とを融合
- 25μmの精度でステレオ校正
  - 簡便な校正
  - 高精度スペーサを使えば2回の撮影でOK
  - 置けないときはラフで10回撮影

実績例（三菱重工Gにライセンス）
～高精度3次元デジタルカメラ計測システム

- 菱日エンジニアリング社（三菱重工G）
  ピクシス(PIXXIS)で採用
- 高精度3次元計測
  - 最大1／35000の計測精度
  - 10mの対象物で±0.3mm(1σ)
- 用途
  - 大型構造物の形状管理
    ー橋梁・プラント・鉄骨・管など
    ー対象サイズ　～30m程度
  - 既存現場計測
    ーアンカーボルト位置
    ー既存構造物の改修
- 手軽に計測

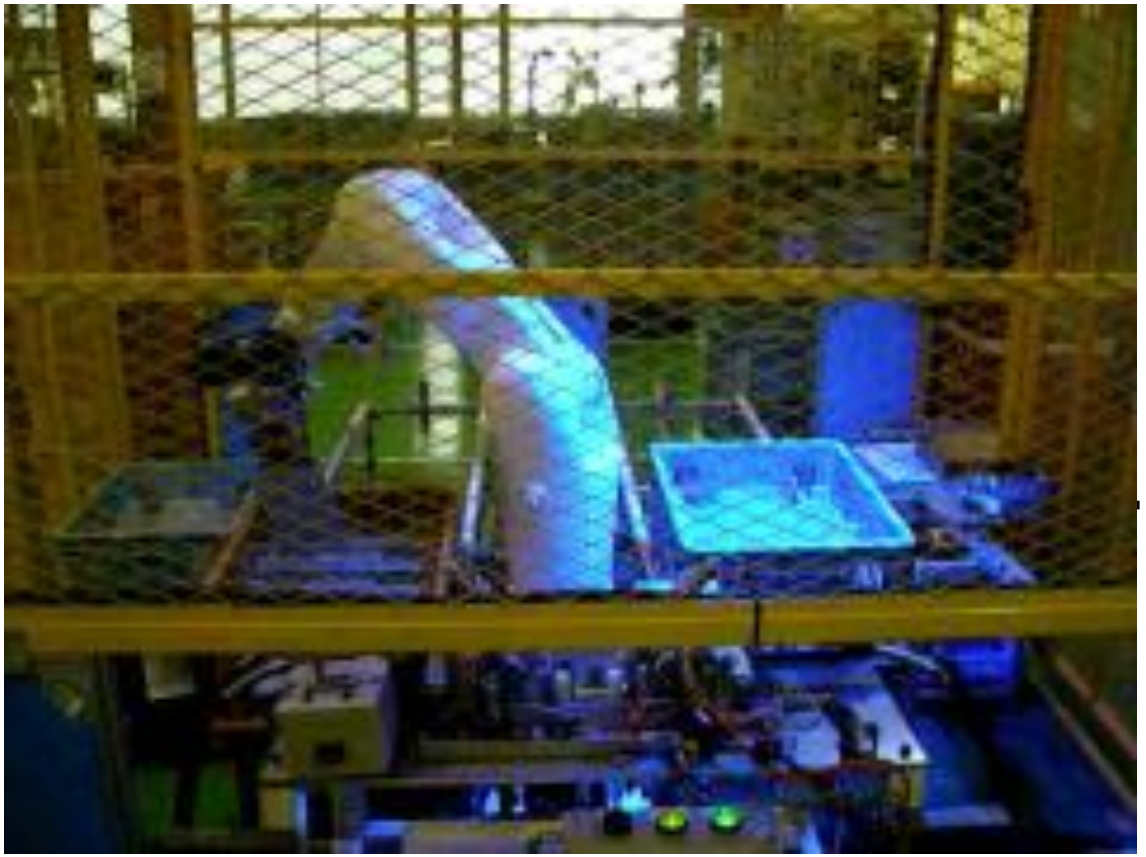




原木寸法計測装置

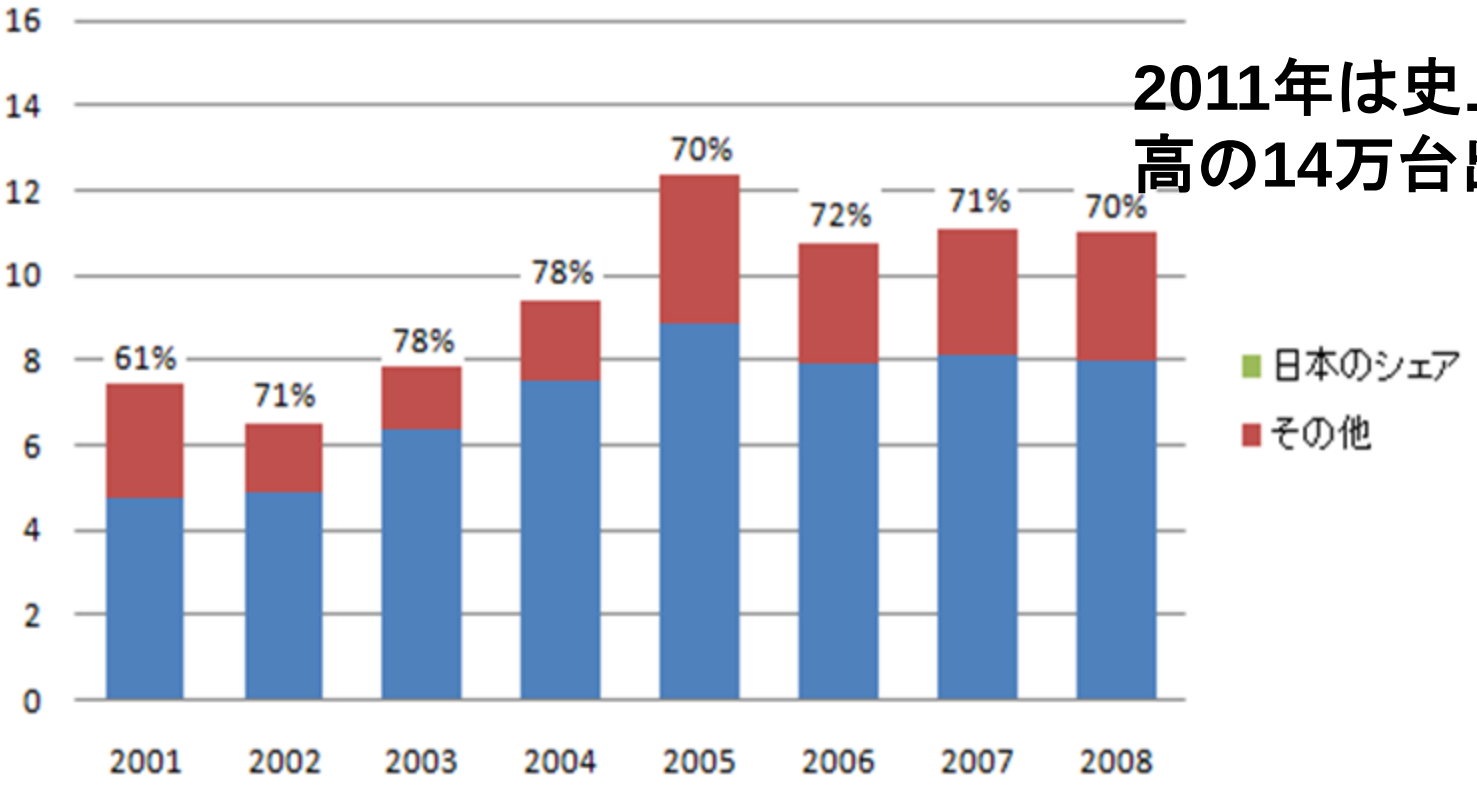
瀬戸製材株式会社と共同開発
シーケーエス・チューキが販売（12年1月発売）

ロボットビジョン稼働例



2012年10月、第5回ロボット大賞
中小企業庁長官賞を受賞

世界の産業用ロボット出荷台数

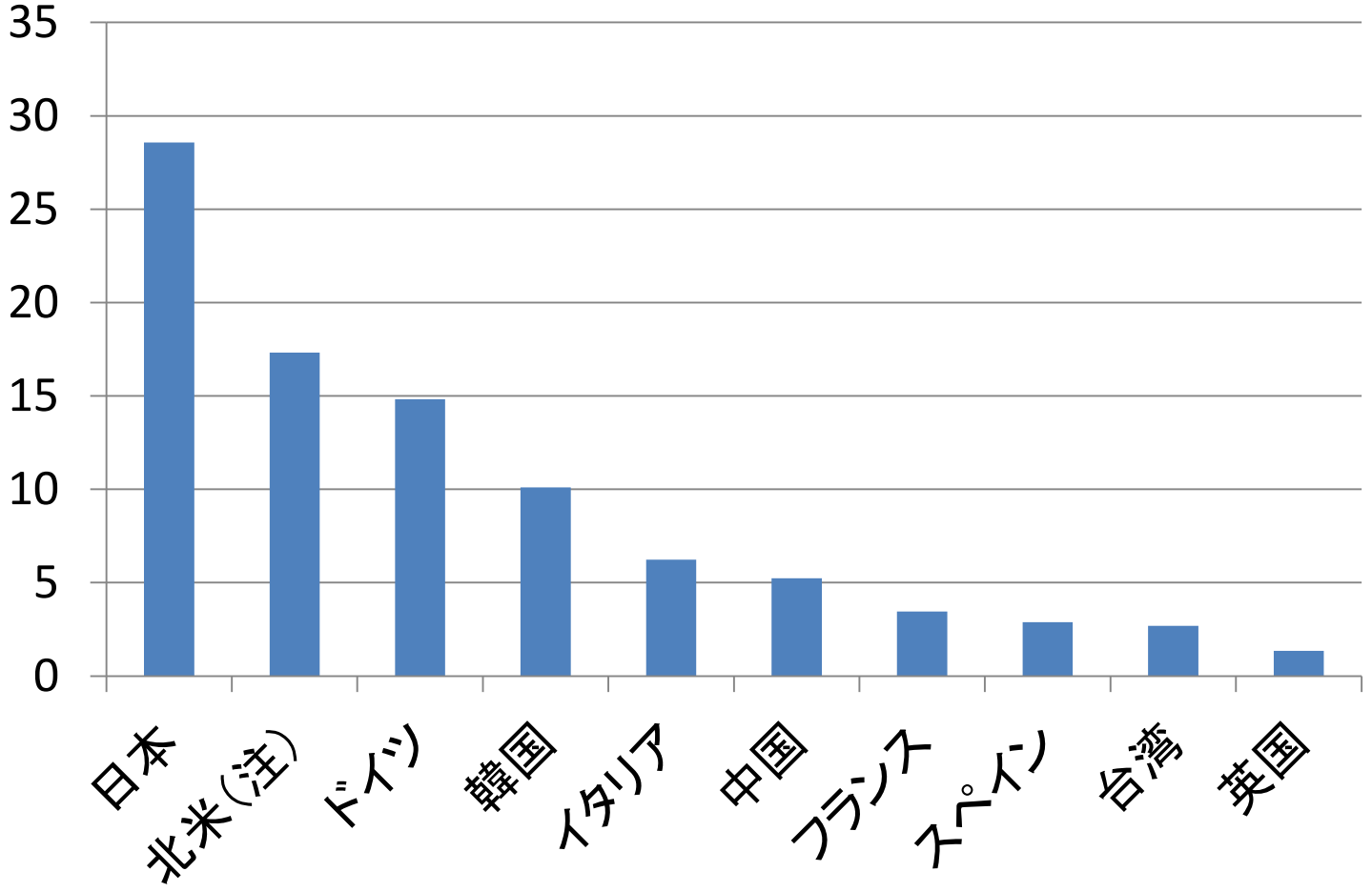


2011年は史上最高の14万台出荷

情報提供元: 経済産業省（通商白書2010）

国別ロボット稼働台数

- 単位：万台 （合計95万台）



現状の産業ロボットの課題

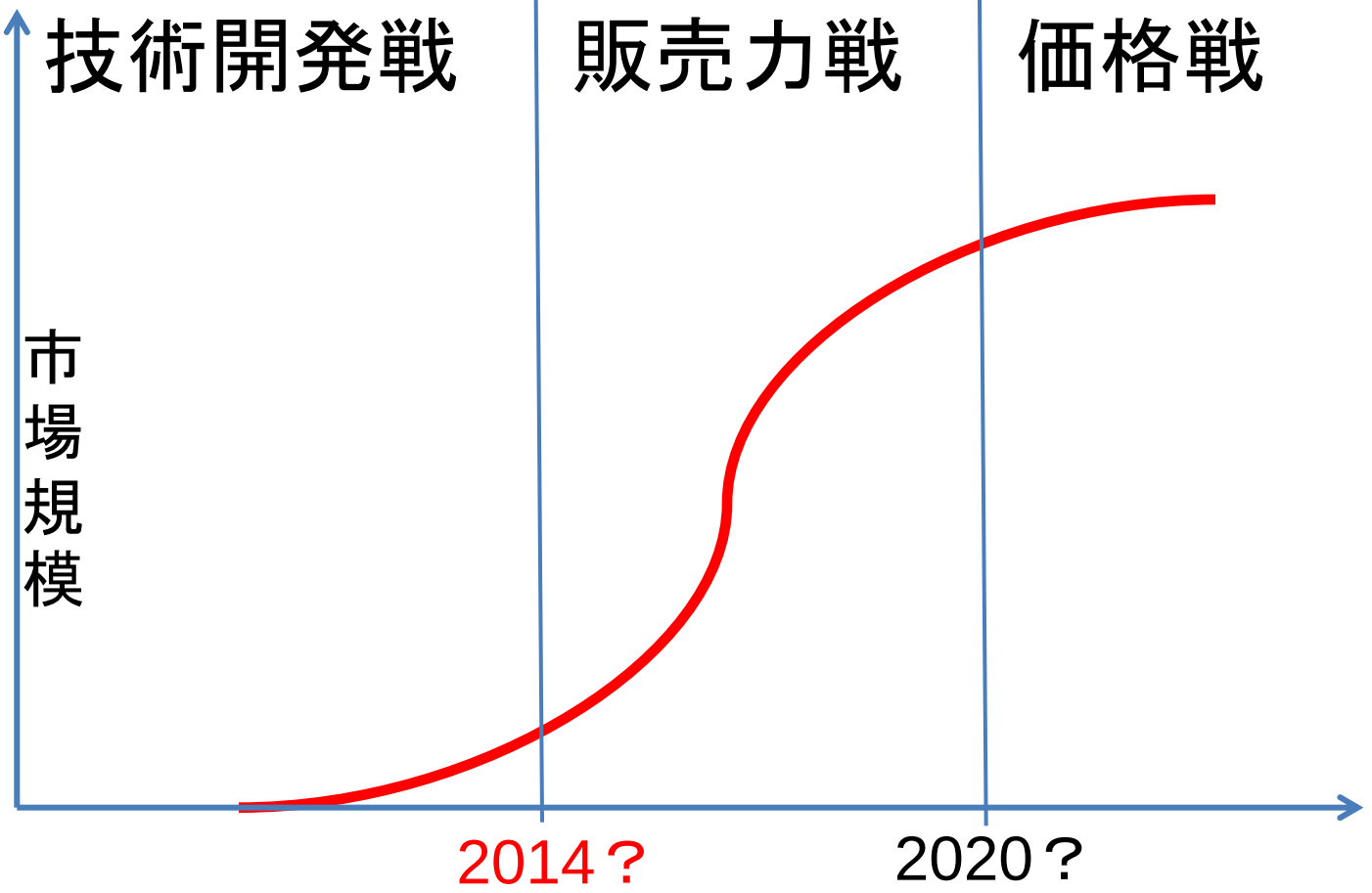
- 決まった位置姿勢に部品がないときに無力
- 教えた動作の繰り返しでは、部品供給は自動化できない
- 「目」が必要
- 30年来の夢

産業ロボットの価値

- 機械工場労働者1人あたりの年間人件費（社会保険・退職金・管理費を含む）を500万円とし・2交替で年間ざっと1000万円
- 2年償却で計算すると、ロボットシステム価格：　2000万円前後
- 産業ロボットシステムの価値は非常に高い

3次元ロボットビジョンのプロダクトライフサイクル

- Sカーブ　導入期　成長期　成熟期
- 技術開発戦　販売力戦　価格戦



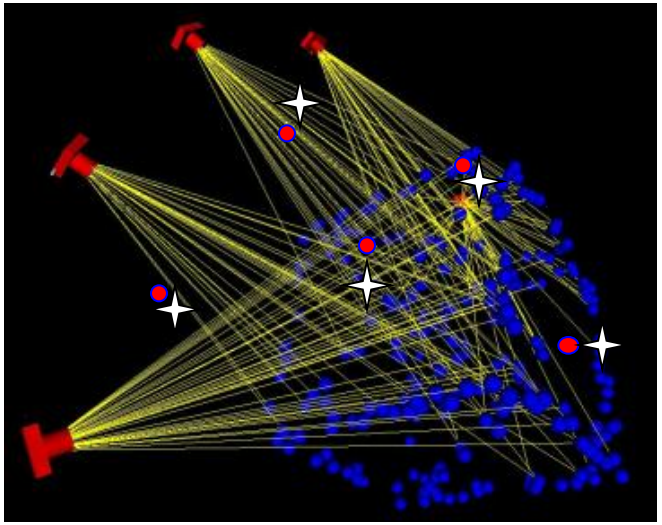
3次元ビジョンとは？

- １、キャリブレーション
- ２、3次元形状復元（対応問題）
- ３、3次元物体認識・位置姿勢推定

- この3つの問題に帰着できると考える

キャリブレーション・3次元復元

M images　N points



連立非線形方程式を解く

良い初期値を求め、
マーカード法で漸近

逆投影誤差最小化＝最尤推定（⇒ベイズ推定？）

$$\min_{\mathbf{X}_i,\mathbf{R}_j,\mathbf{t}_j} \sum_{j}^{M}\sum_{i}^{N} \left\| \mathbf{x}_i^j - \mathbf{p}(\mathbf{X}_i,\mathbf{R}_j,\mathbf{t}_j,\mathbf{c}_j) \right\|^2$$

Unknown parameters

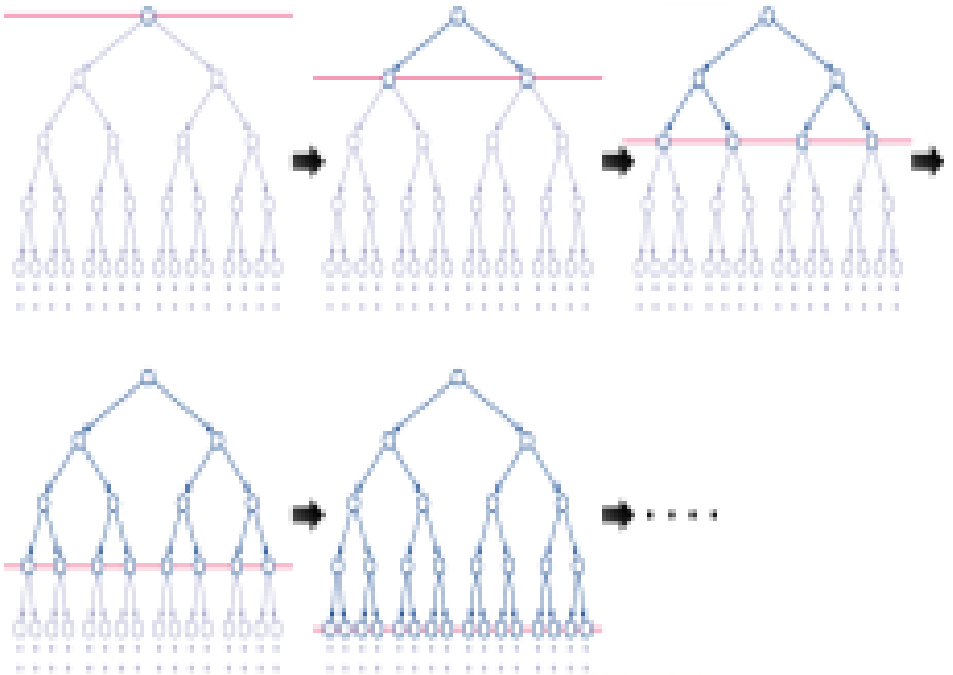
3次元物体認識・位置姿勢推定

- 既知3次元モデルを6次元空間で探索する
- 位置3自由度、姿勢3自由度
- 例：$-100<X<100$, $-200<Y<200$, $-150<Z<150$
- $-\pi<\alpha<\pi$, $-\pi/2<\beta<\pi/2$, $-\pi<\gamma<\pi$
- １つの物体を認識することは、この6次元空間における１点を探すことと等価

なぜ3次元認識が難しいか

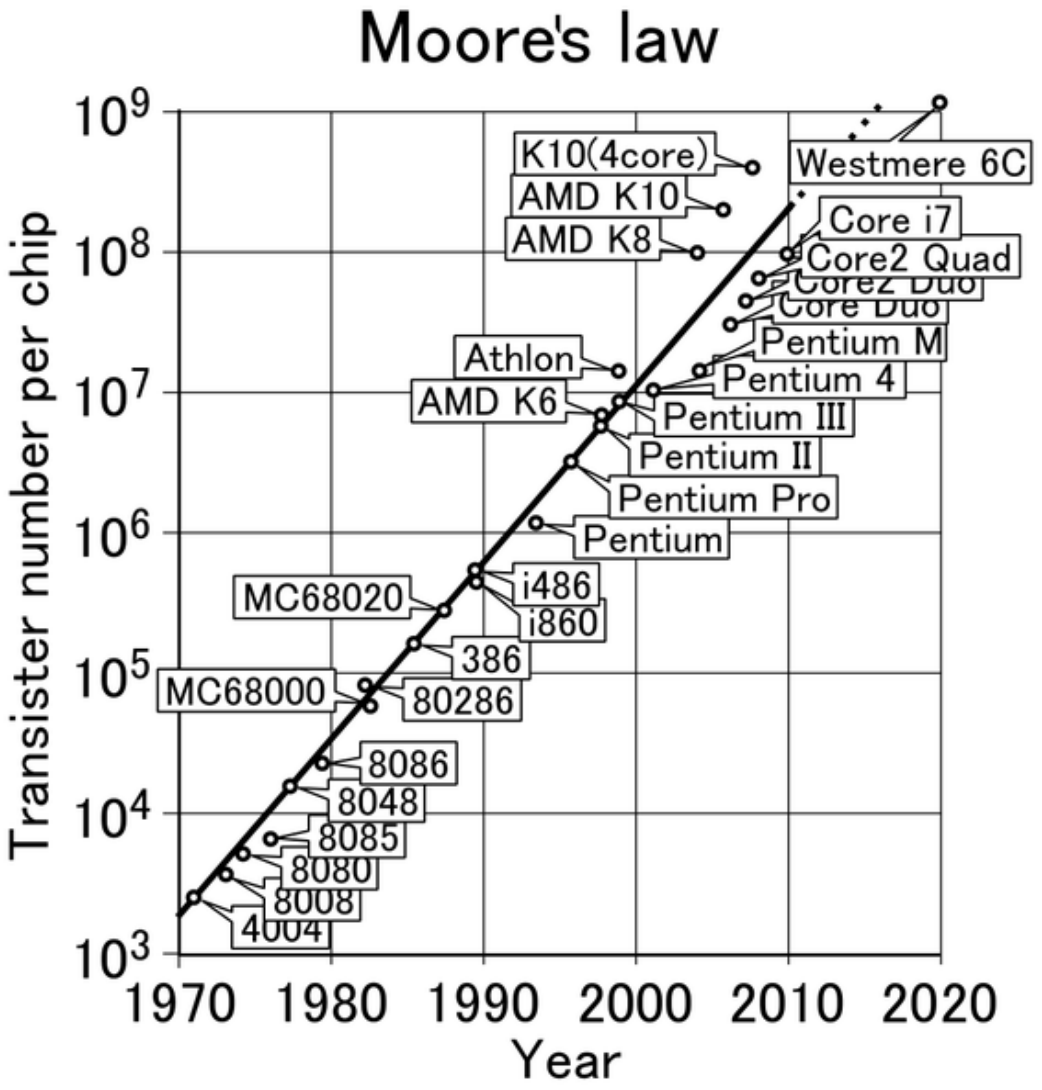
- 6次元探索空間
- 位置X,Y,Z
- 姿勢α,β,γ
- ロバスト性
- ↓
- 全探索
- （exhaustive search）

$$100^6 = 1 \quad \text{テラ}$$



（一般的機械学習のアプローチで、このような問題を実用レベルで解けるか、学問として興味深い）

ムーアの法則

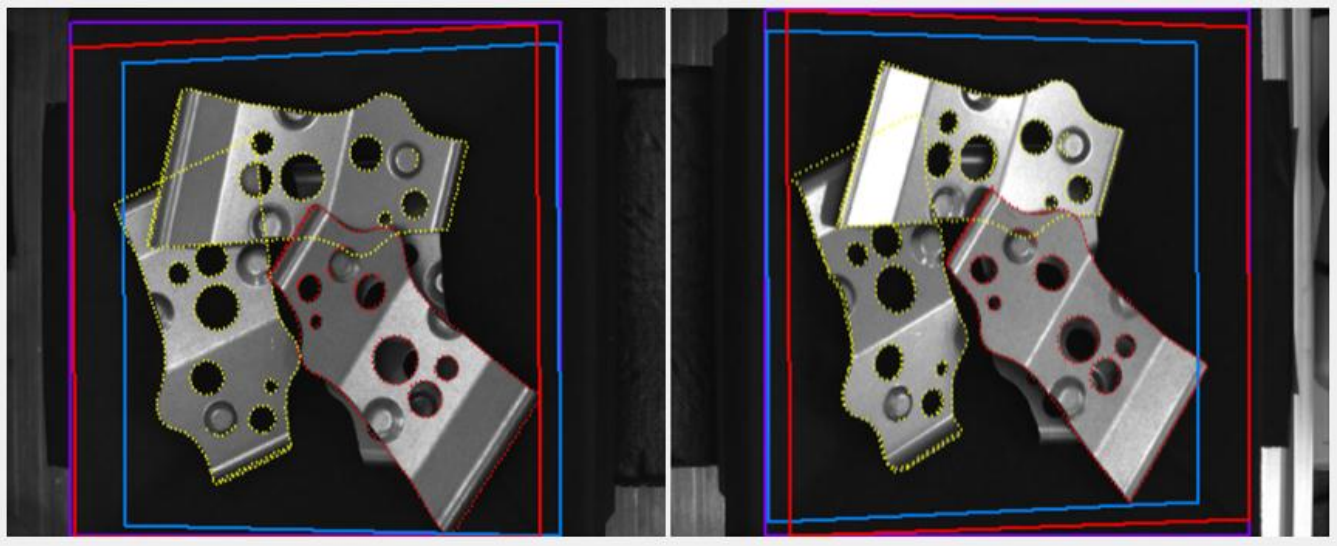


計算パワーは18か月で倍増

出典：http://ja.wikipedia.org/wiki/ムーアの法則

2つのアプローチ

- Contour



- Point cloud

世界初！！
本格的3次元ロボットビジョンセンサ

- ３次元ビジョンセンサ・輪郭による3次元認識

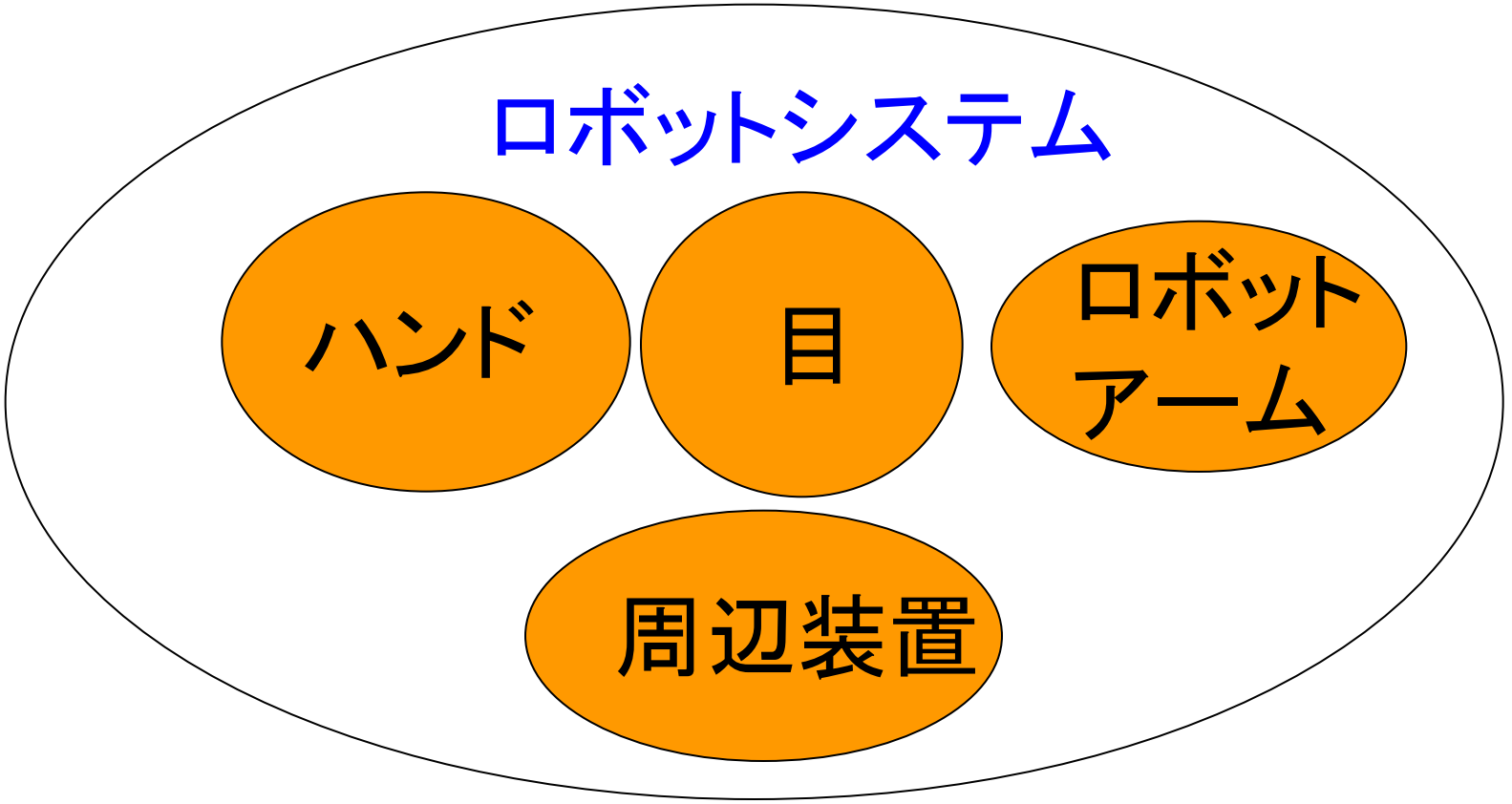
- **特許第4649559号、第4677536号**
  特許第4940461号

ロボットメーカ6社のロボットと接続

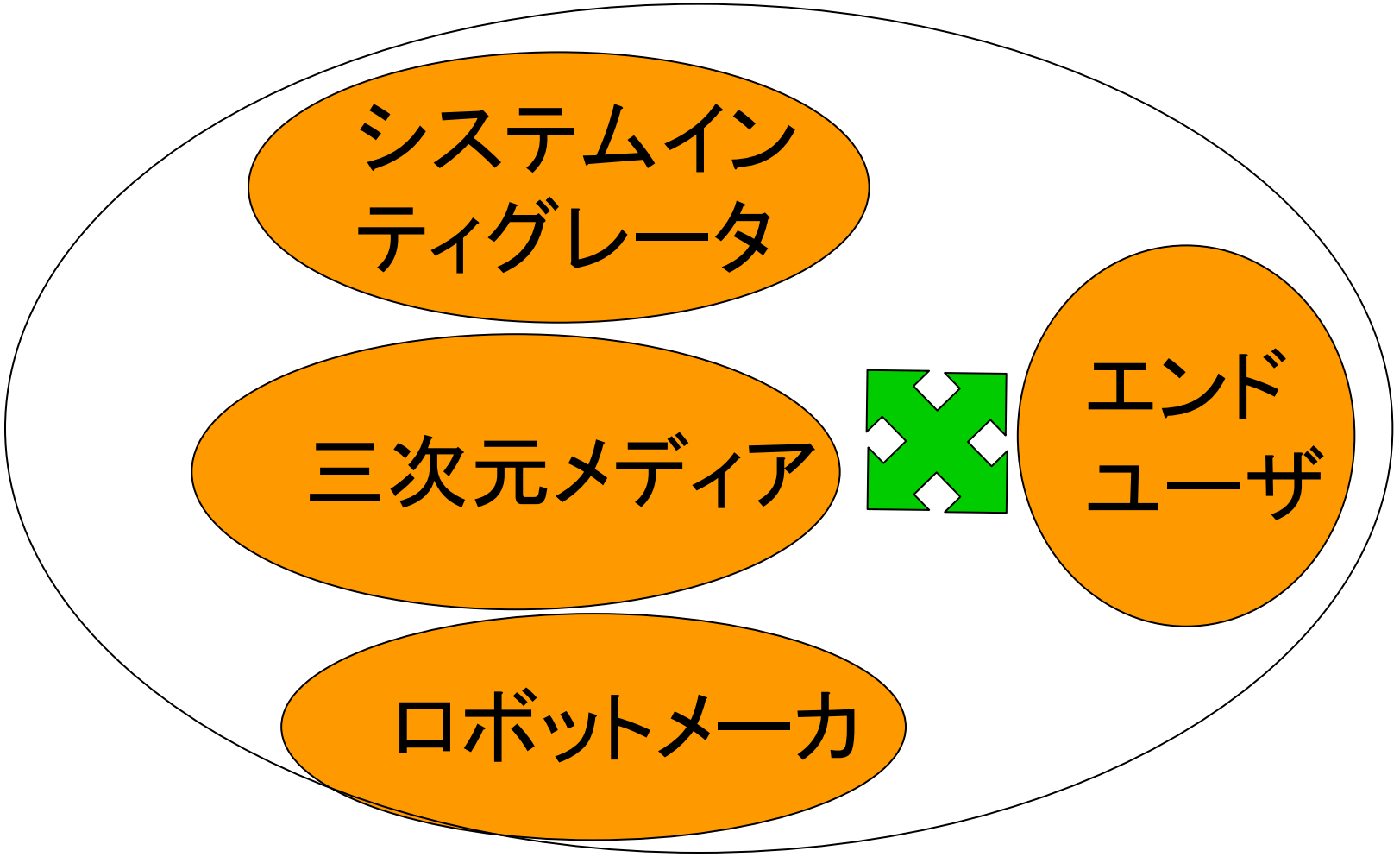
- 安川電機
- 川崎重工
- デンソー
- 三菱電機
- 不二越
- ABB

インストールベースを増やす

トータルプロダクト



プレイヤたち



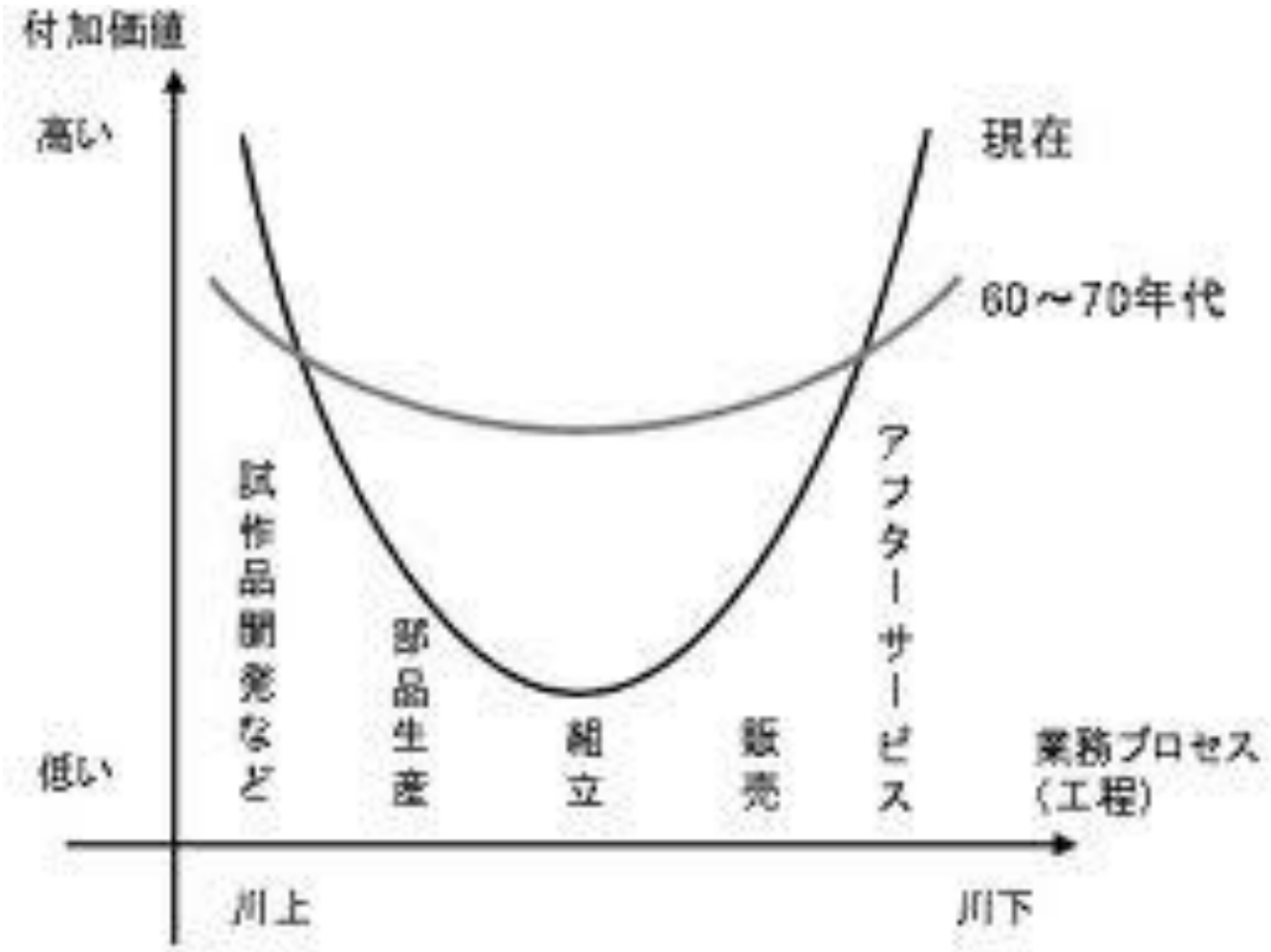
FAビジネスの特徴

- 高収益企業が多い　⇒次頁参照
- 販売前技術サポートと販売後メンテサービスが必須
- 製品販売だけでなく、サービスも収益源

電気機器企業時価総額ランキング（2013年1月4日）

- 1位　キヤノン　　4兆5615億円
- 2位　ファナック　3兆9615億円　NCトップ
- 3位　日立　　2兆4965億円
- 4位　三菱電機　1兆6190億円　PLCトップ
- 5位　京セラ　1兆5420億円
- 6位　キーエンス　1兆5237億円　FAセンサトップ
- 7位　東芝　1兆4832億円
- 8位　パナソニック　1兆3173億円
- ソニー　9796億円　　シャープ　3365億円

スマイルカーブ


付加価値
高い
低い
現在
60～70年代
試作品開発など
部品生産
組立
販売
アフターサービス
業務プロセス
(工程)
川上
川下

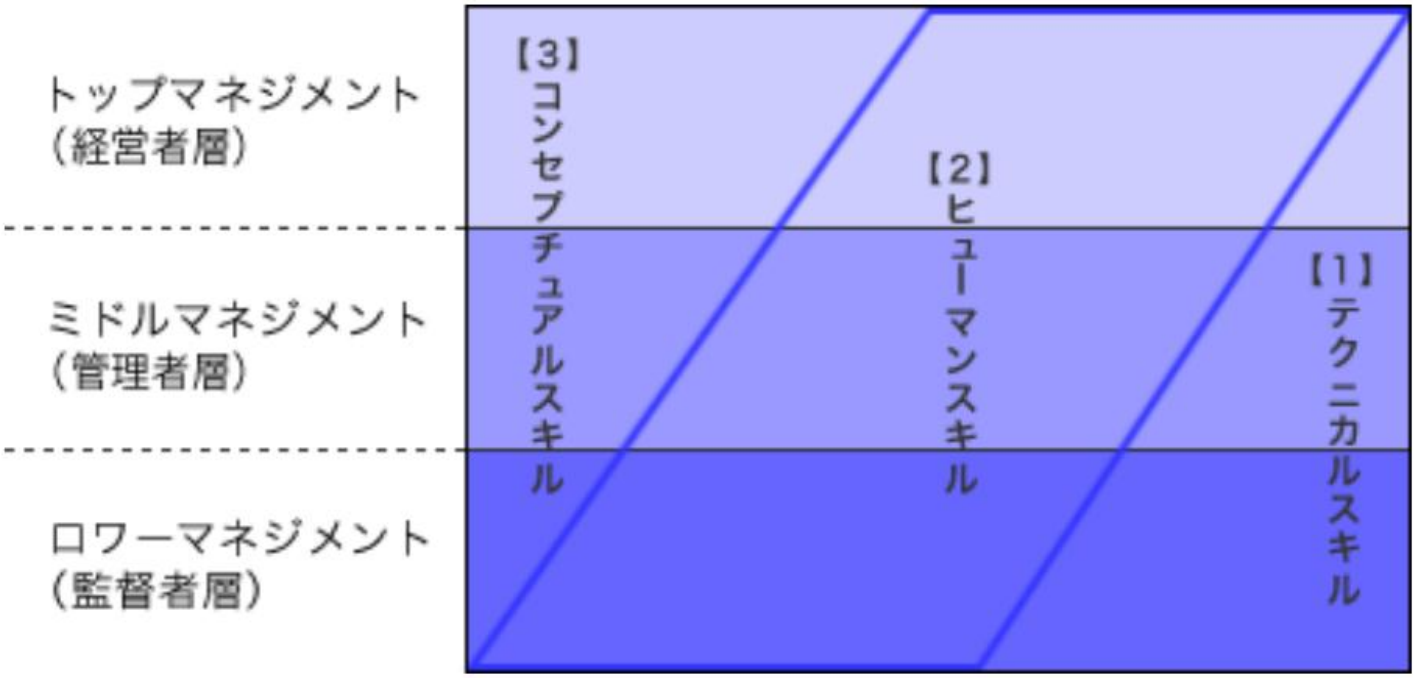
市場シェアが最優先

- ランチェスター第2の法則:　戦いにおいて戦果の差は兵力の自乗の差に比例する　⇒
- 販売量の差は、販売員数の自乗の差に比例
- 更に経験曲線（BCG）:生産量が2倍になるごとに、コストは15%下がる（利益が上がる）
- シェアが高いほど価格競争に巻き込まれない
- 上限目標シェア　73.9%　独占・絶対安全
- 安定目標シェア　41.7%　立場が安定
- 下限目標シェア　26.1%　安定不安定の境目

技術革新に伴う投資判断

- 技術革新は膨大な開発投資が必要。そのチャンスとリスクの判断には、技術の本質が分かるCTOかCEOが必要である
- 技術者・研究者の出番である

3つのスキル（ロバート・カッツ）



- 経営は概念的で定量的、理工系研究と同じ
- 研究者・技術者はテクニカルスキル・コンセプチュアルスキルが高く、意外と経営向き

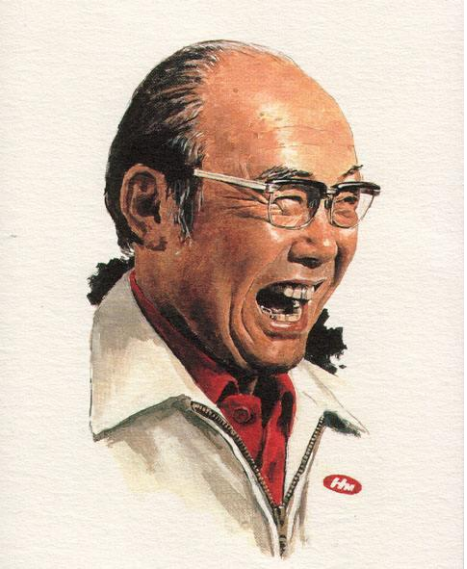
経営に必要なスキル

- ヒューマンスキル （高い志で磨くしかない）
- MBAの４本柱
- 　クリティカルシンキング（解が一意でない中での思考法）
- 　リーダーシップ
- 　マーケティング （顧客の創造）
- 　ファイナンス （定量的ビジネス分析）
- クリティカルシンキングとリーダーシップは大学の教養課程の必修科目にしたらどうか

理論と実用の相性

- 「理論的研究は実用的ではない」
- 「製品は理論とは無縁」
- とんでもない
- ファナックの例
- Googleの例

偉大な企業を作った起業家の多くは技術者



工学研究は何のためか

- 学問的進歩⇒論文・著書は最終目的ではない
- 最終的には社会に価値を提供し、生活を豊かにすることが目的
- それは幾ら？という尺度
- 研究テーマの選択基準の一つに

社会実装に参加、主導

- 研究成果の社会実装＝実用化・事業化は、実に複雑なプロセス
- CTOまたはCEOとして、技術を本質的に理解する研究者（技術者）自身の参加が必要不可欠だと考える
- 欠けていれば成功しない。多くの研究成果が埋もれている原因はここにあるのではないか
- 社会実装にこそ、多くの新しい研究テーマが潜んでいる