

製造業のデジタル変容史ー

サイバー世界とフィジカル世界の好循環に向けて

学習院大学 国際社会科学部 柴田友厚

本日の内容

- CPS（サイバー・フィジカル・システム）へと向かう製造業のデジタル化の流れを、歴史的な観点から俯瞰して、日本の立ち位置と今後の課題を確認する。



そもそも、デジタル化とは何か？

- デジタル化とは、情報が現場（機器と人間）との密接なカップリングから解き放たれて、全ての情報が0と1の2進数で表現されること。
- 他方、アナログ情報は現場（購買現場や生産現場）に張り付いているために、それを引き剥がして、他の場所に正確に伝達することは難しい。
- デジタル化されたデータは、加工の柔軟性などの多くのメリットを持つ。
- 例）X線画像診断装置では、フィルムという物理的媒体の制約から解放された。診断情報がデジタル化された電子情報となり、処理の柔軟性や正確な伝達性が飛躍的に高まった。

■



2つのデジタル化の対象は、相互促進的に進化する

業務プロセスにデジタル技術を取り込む



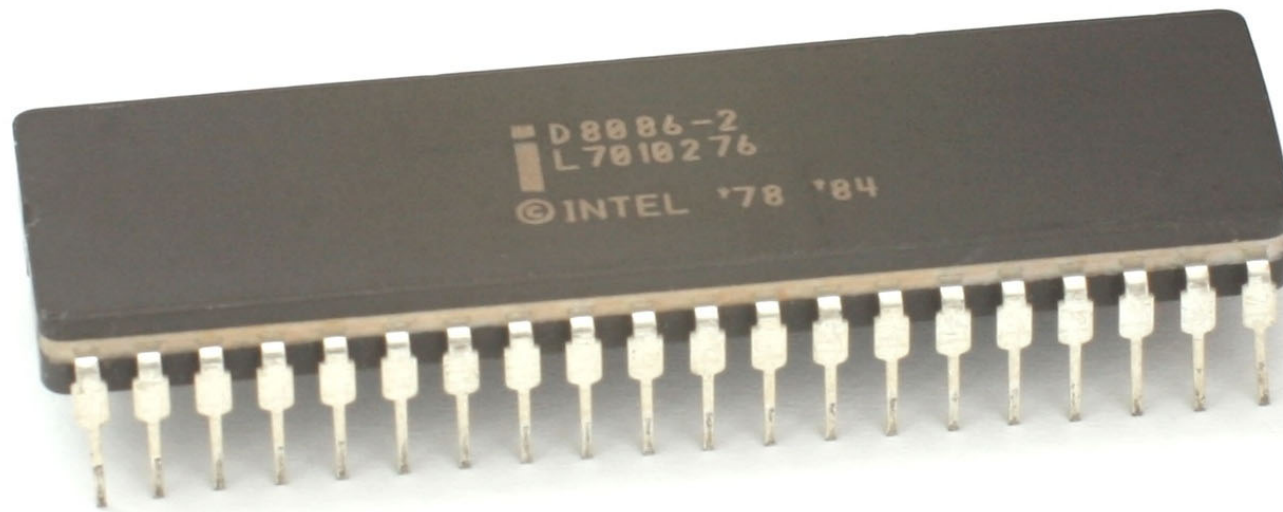
コロナ禍での、定額給付金配布に関わる一連のトラブルは、業務プロセスのデジタル化の課題を浮き彫りにした。日本は依然としてファックスと紙への依存が強い。

機械・機器にデジタル技術を組み込む

本日の主要テーマは機械・機器のデジタル化

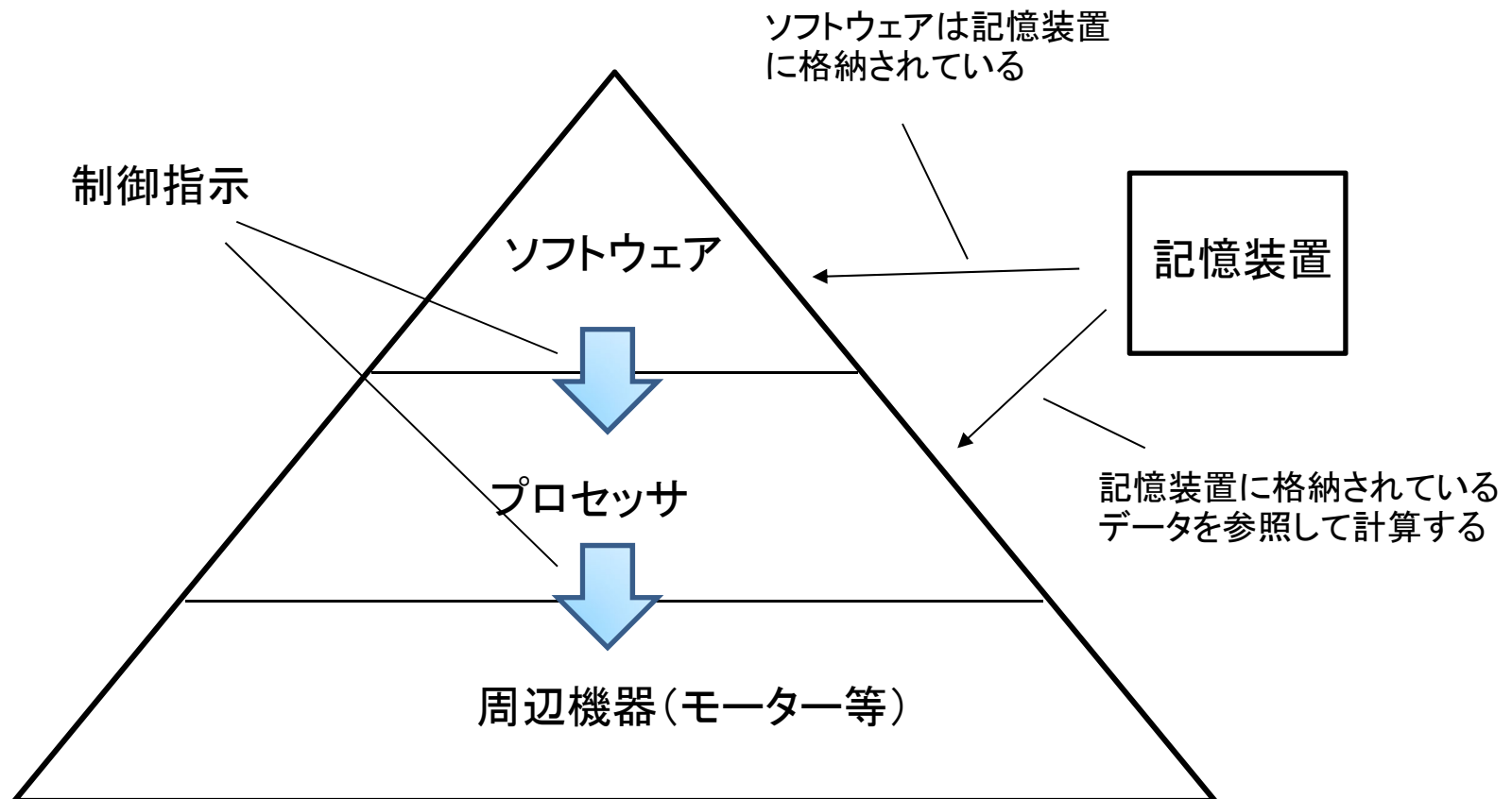


現在のマイクロプロセッサ(MPU)の原型 インテルの16ビットMPU「8086」(1978年)

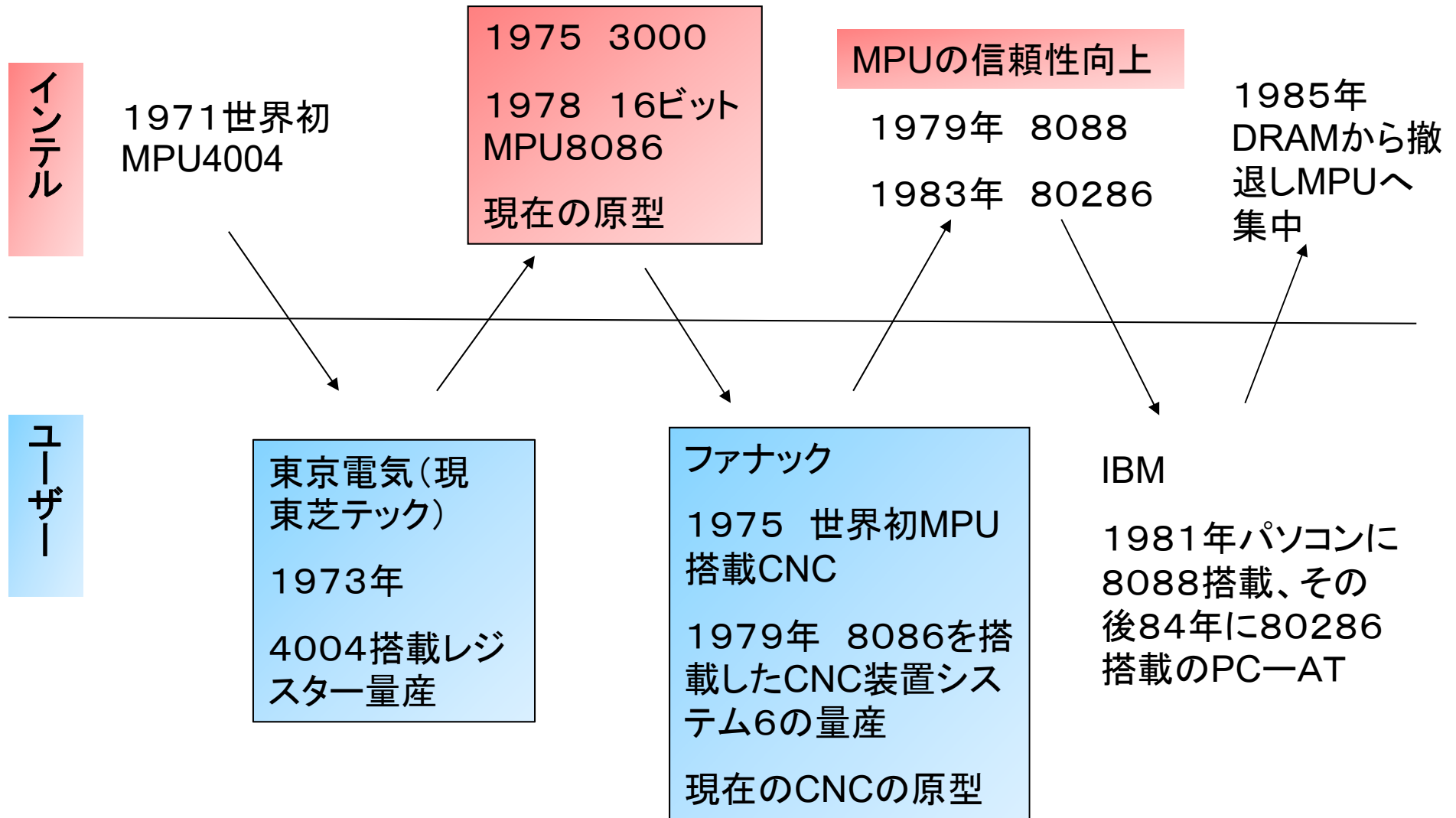


出所:ウィキペディア

デジタル化した機械における制御指示の流れ



機械のデジタル化は日本から始まった歴史



CNC旋盤生産台数の日米欧比率の推移

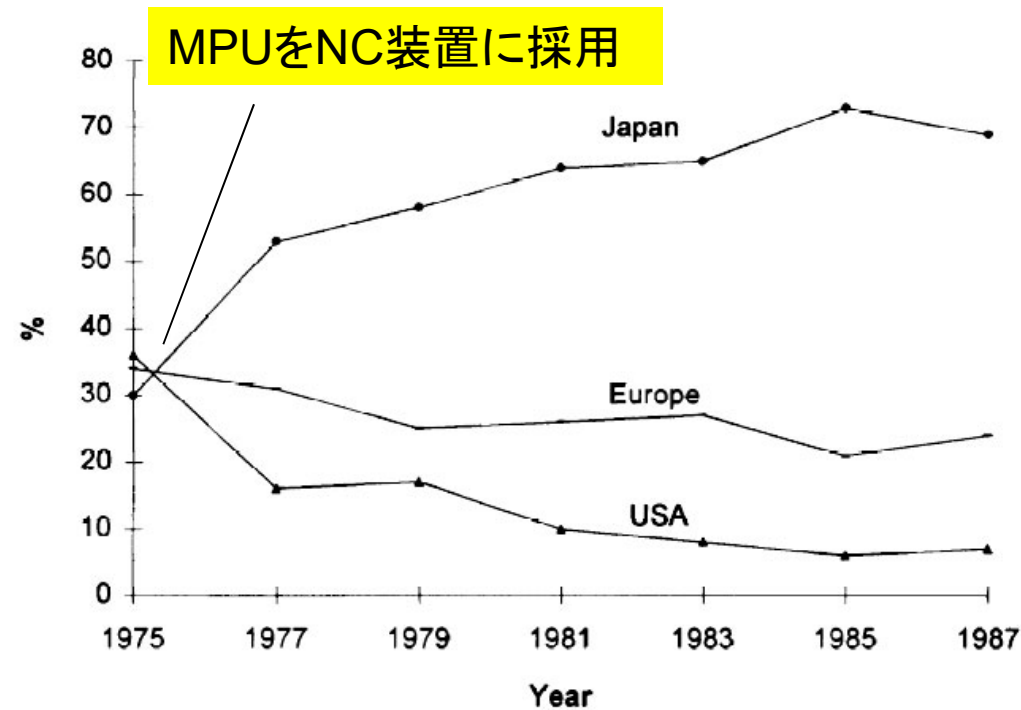
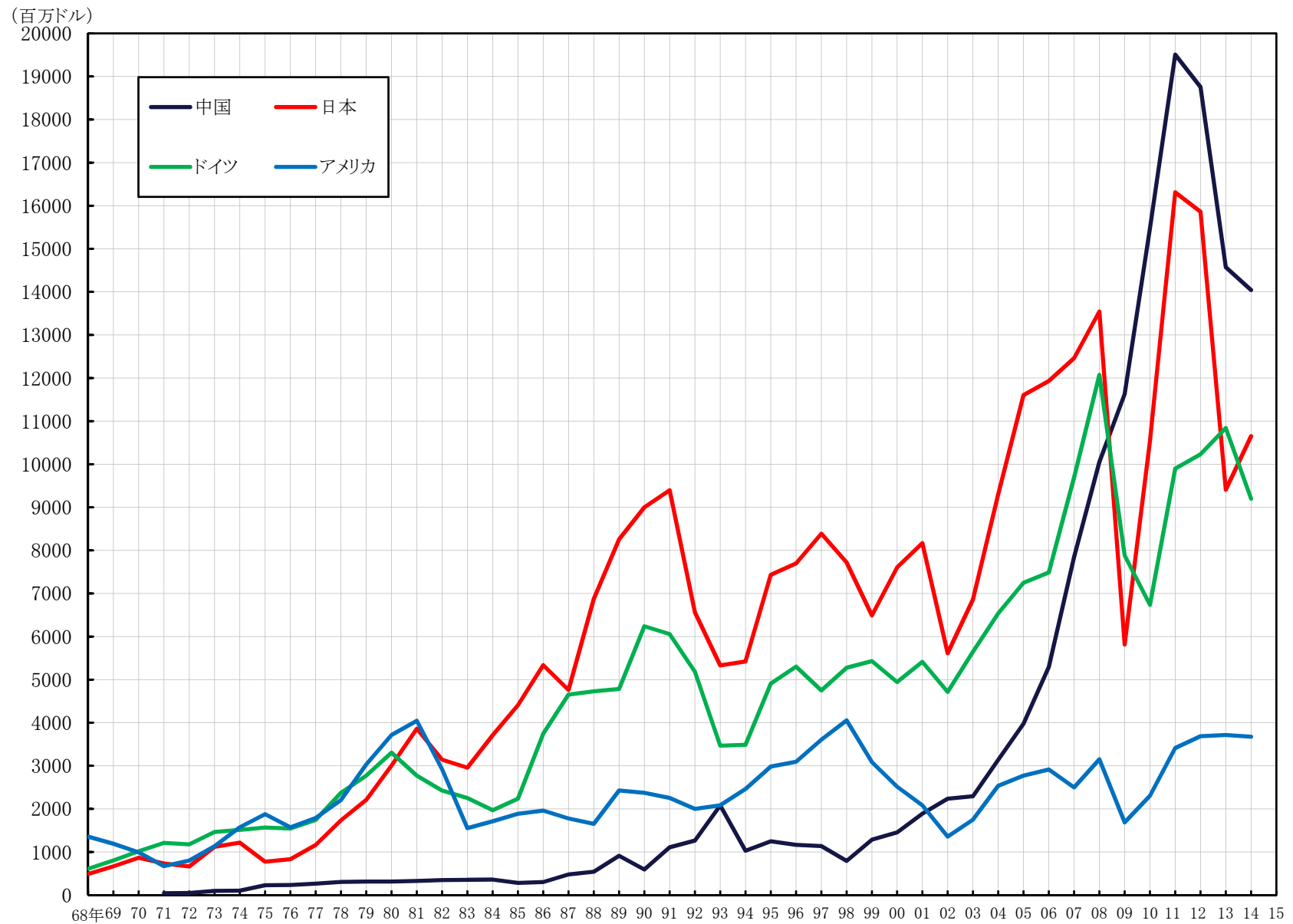


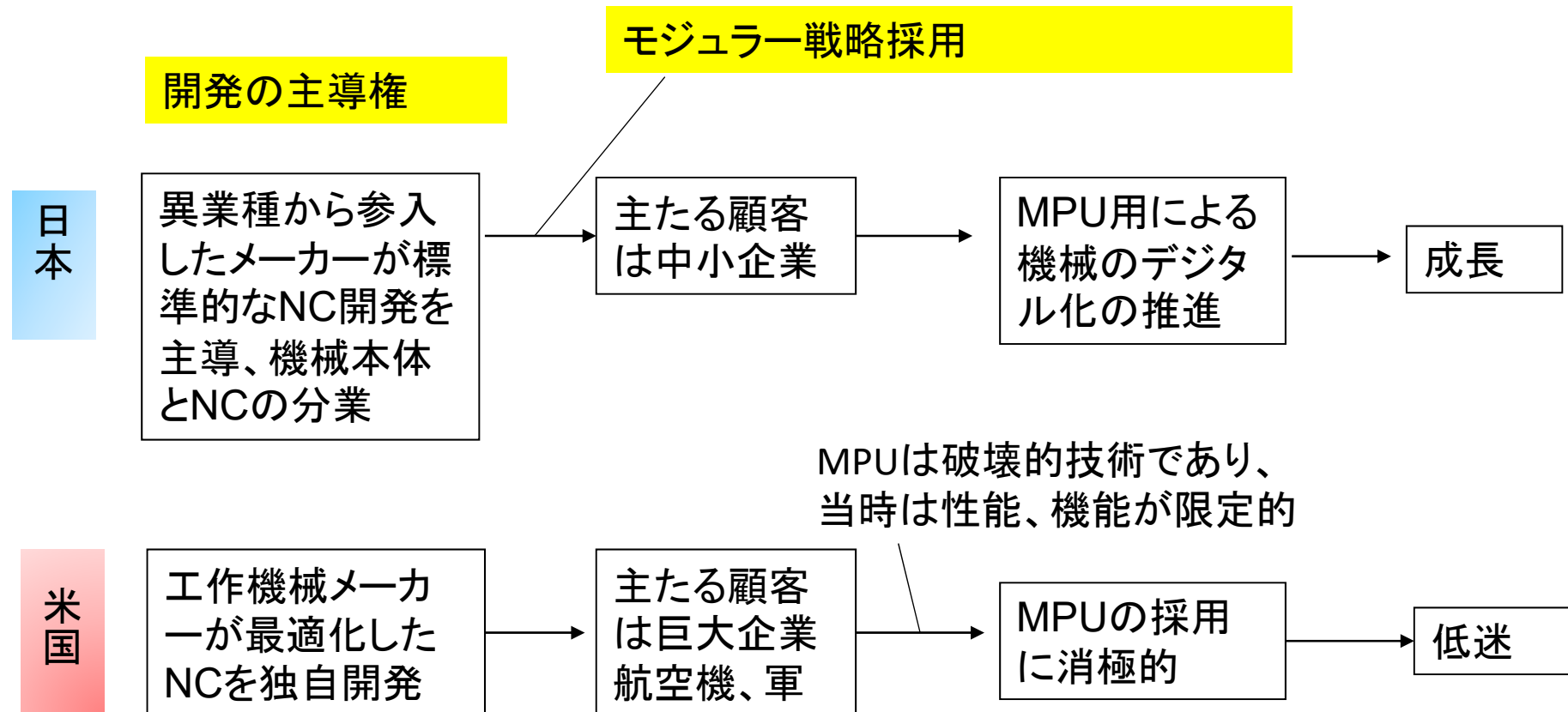
Figure 6. The production of CNC lathes in Japan, Europe and USA 1975–1987 (in % of units).
Sources: 1975–1983: Jacobsson 1986; 1985: Elaboration on data supplied by CECIMO and NMTBA; 1987: Elaboration on data supplied by CECIMO.

主要国の切削型工作機械生産高



出所: 日本工作機械工業会

日米の盛衰を分けたメカニズム



再プログラム (RE-PROGRAMMABILITY) 可能性

- ハードウェアを変更せずに、機能追加・修正等がソフトウェアだけで可能になるという高い拡張性
- PC等のコンピュータ産業では至極当たり前だが、それが機械でも可能になる。
- OTA テスラ電気自動車
- 2014年以降、自転車産業における部品大手 シマノの電動化された制御システムSTEPSでは、ソフトウェアの更新が遠隔で可能。

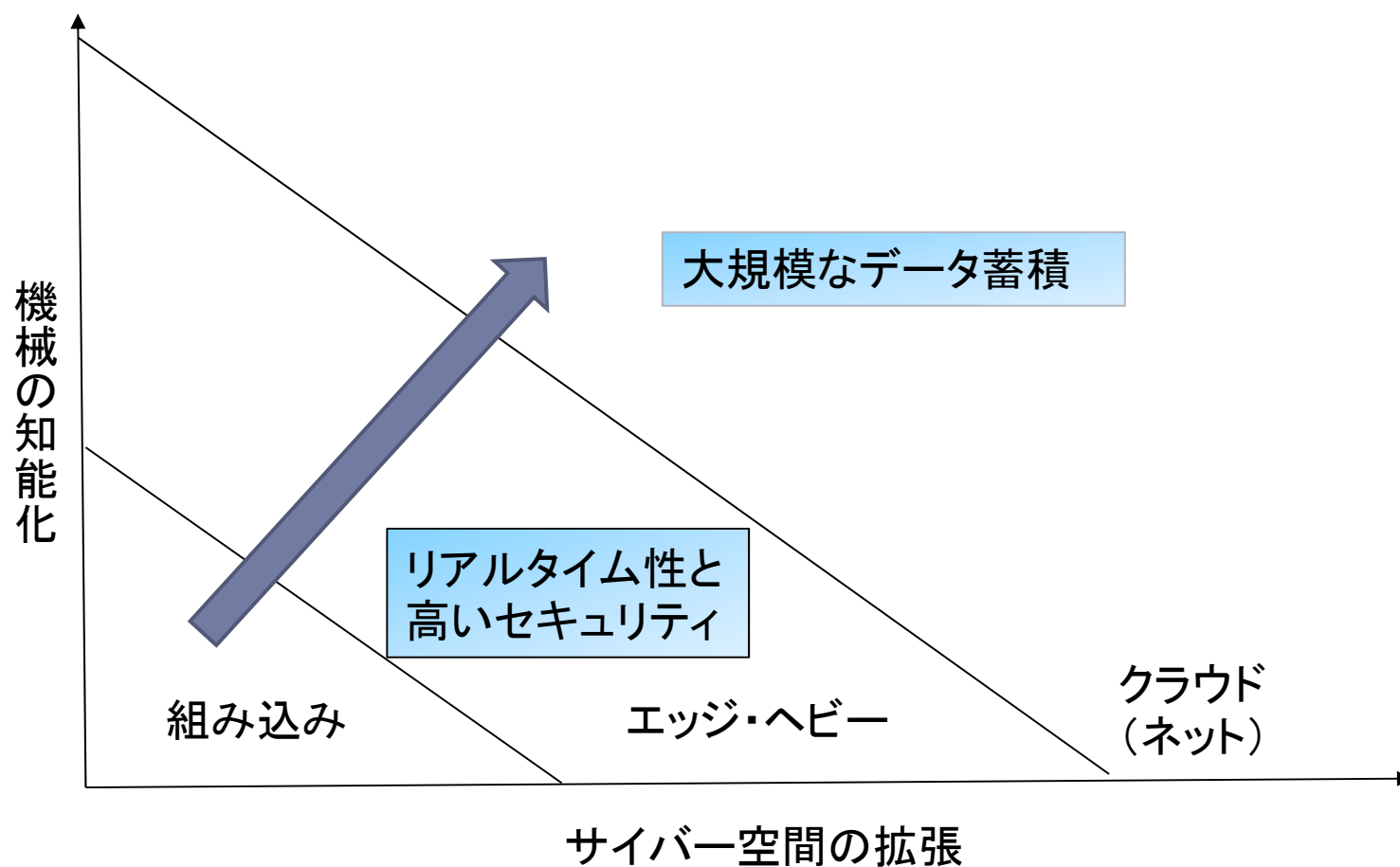


高まるモジュラー戦略の比重

- 良いソフトであるための必要条件は、少なくともモジュール化されていること。
- モジュール化されていないソフトは、要素間の複雑な相互依存関係が残り、ロジックが入り乱れて解読困難に陥る。
- それは悪いソフトの代名詞として、「スパゲッティ・プログラム」と呼ばれる。
- モジュール化の威力は、「戦略的柔軟性」と「埋め込まれた進化能力」の2つ。

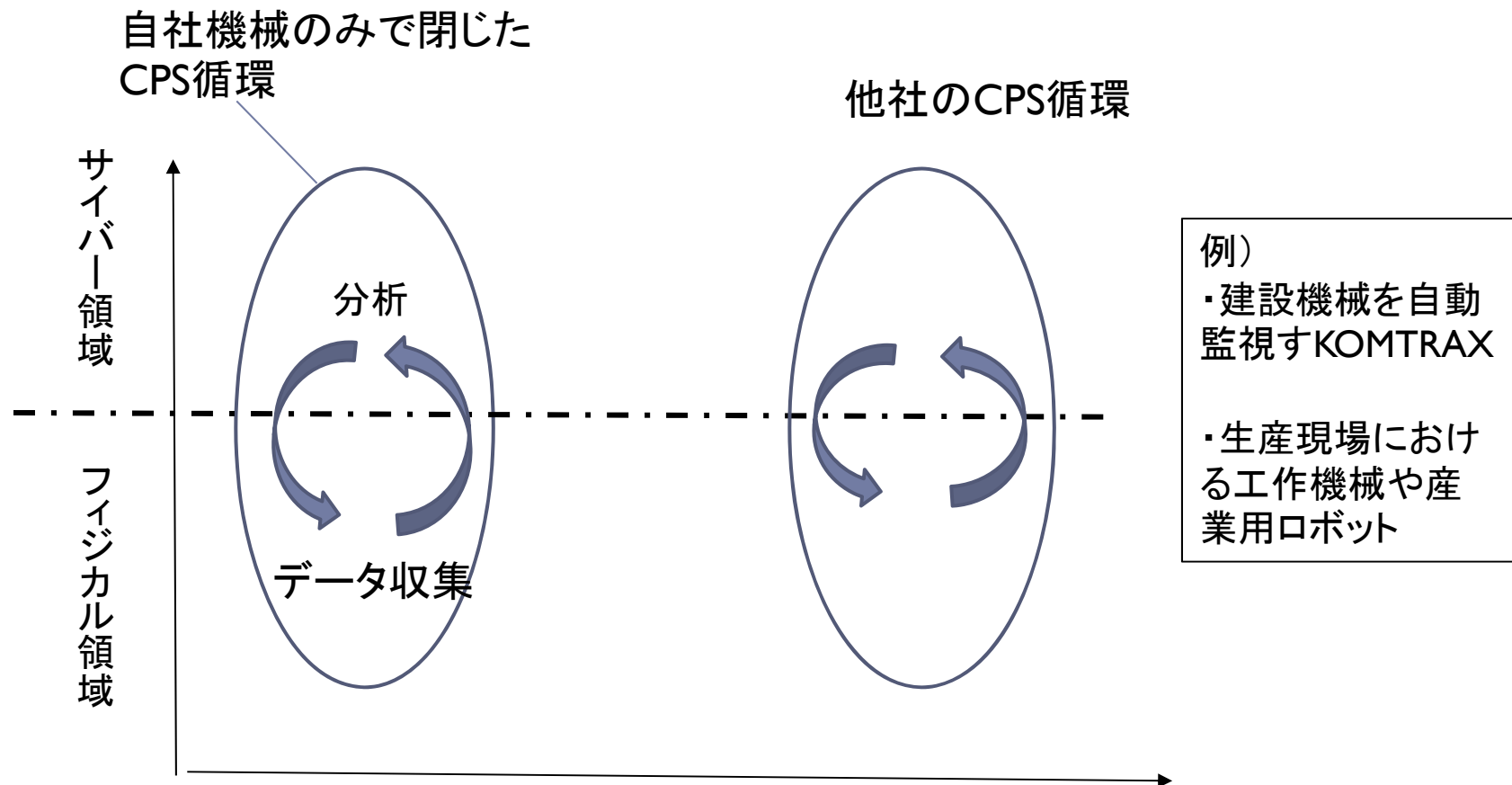


機械の知能化 と 拡張されるサイバー空間へ

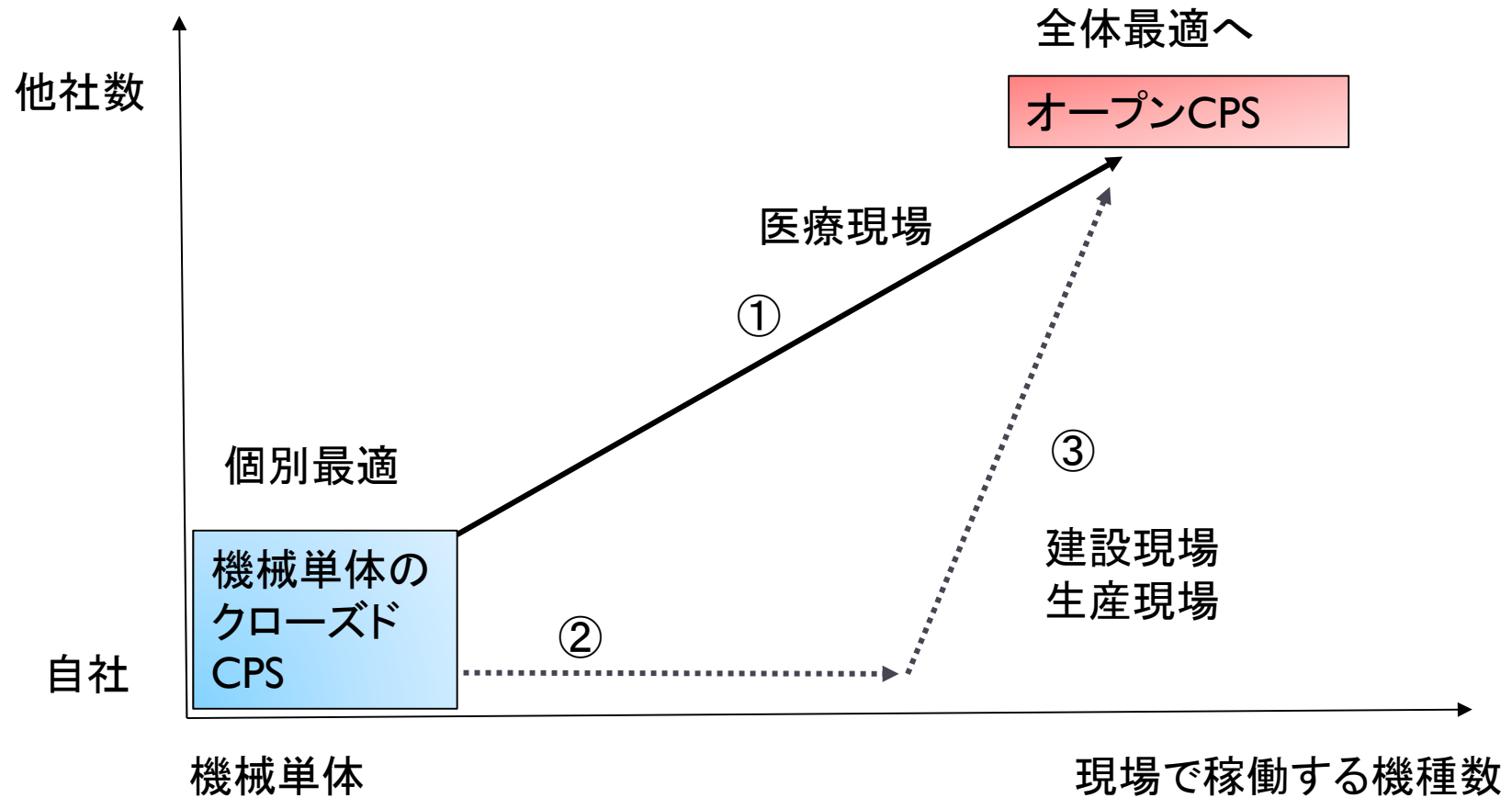


機械のデジタル制御方式は、その後、機械の知能化とサイバー空間の拡張の2つの方向に向かって進化した

機械・メーカー独自の閉じたサイバー・フィジカルの循環による個別最適の実現へ

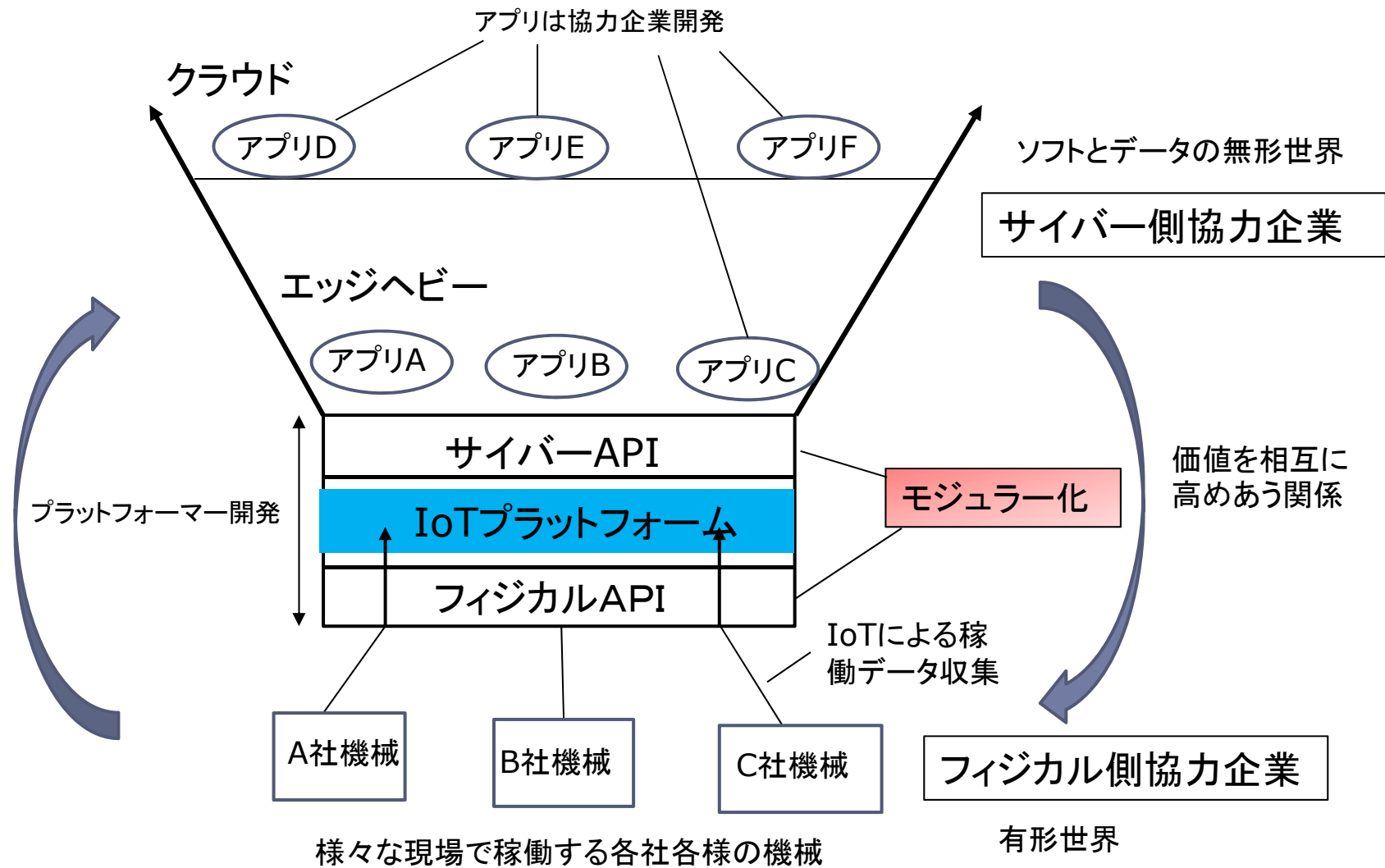


機械単体から現場全体のオープンCPSの発展



CPSは機械単体のクローズドCPSから、現場全体を対象にするオープンCPSへと発展する。

オープンCPSのアーキテクチャ



建設工事全体の流れ

現場全体をICTで連結させて作業全体の生産性を向上させる狙い

従来の方法

スマートコンストラクション

現況測量	設計 計画	施工	施工後のデータ収集
工事現場で人手で実施	2次元の設計図面と現況測量データから施工計画を作成	建機の横で人が作業を確認 (建設機械)	検査のための測量を実施
ドローンを飛ばして、現場地形の3次元データを収集する	設計図面を3次元化して、ドローンのデータと照合して施工シミュレーション	ICT建機に3次元データをダウンロードして半自動。作業確認の人出が不要	ドローンを飛ばしてデータ収集

オープンCPS LANDLOG の概念図

建設現場で発生
するデータ

様々な独自アプリケーション



2種類のAPIが必要

コマツ色を薄めたできるだけ中立的な運営

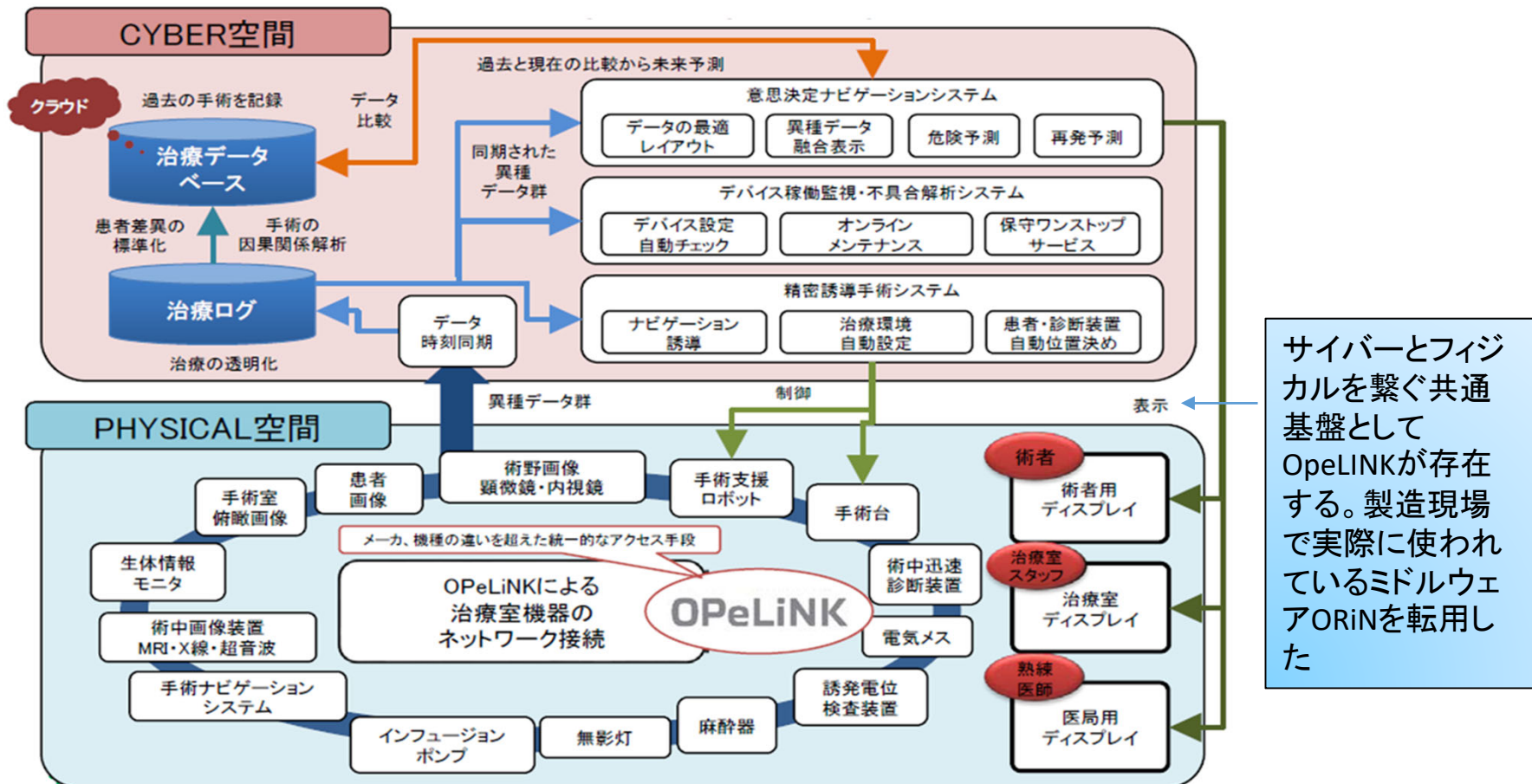
出所:コマツ ホームページ

スマート治療室

SCOT(Smart Cyber Operating Theater)

- ▶ 医療現場でも、CTスキャナーや手術支援ロボットダ・ヴィンチ等多くの技術革新が行われてきた。
- ▶ 手術現場には、メーカーが違う多種多様な医療機器が別個に稼働している。時々刻々と進行する手術の流れ全体を、最適化する必要がある。
- ▶ SCOT導入により、これらの20以上の医療機器を、時間同期させて大型モニターで情報統合できる。情報を一元化できる。
- ▶ 自動車部品メーカーの生産現場で使われていたミドルウェアをSCOTに転用した。

SCOT(医療現場CPS)のイメージ



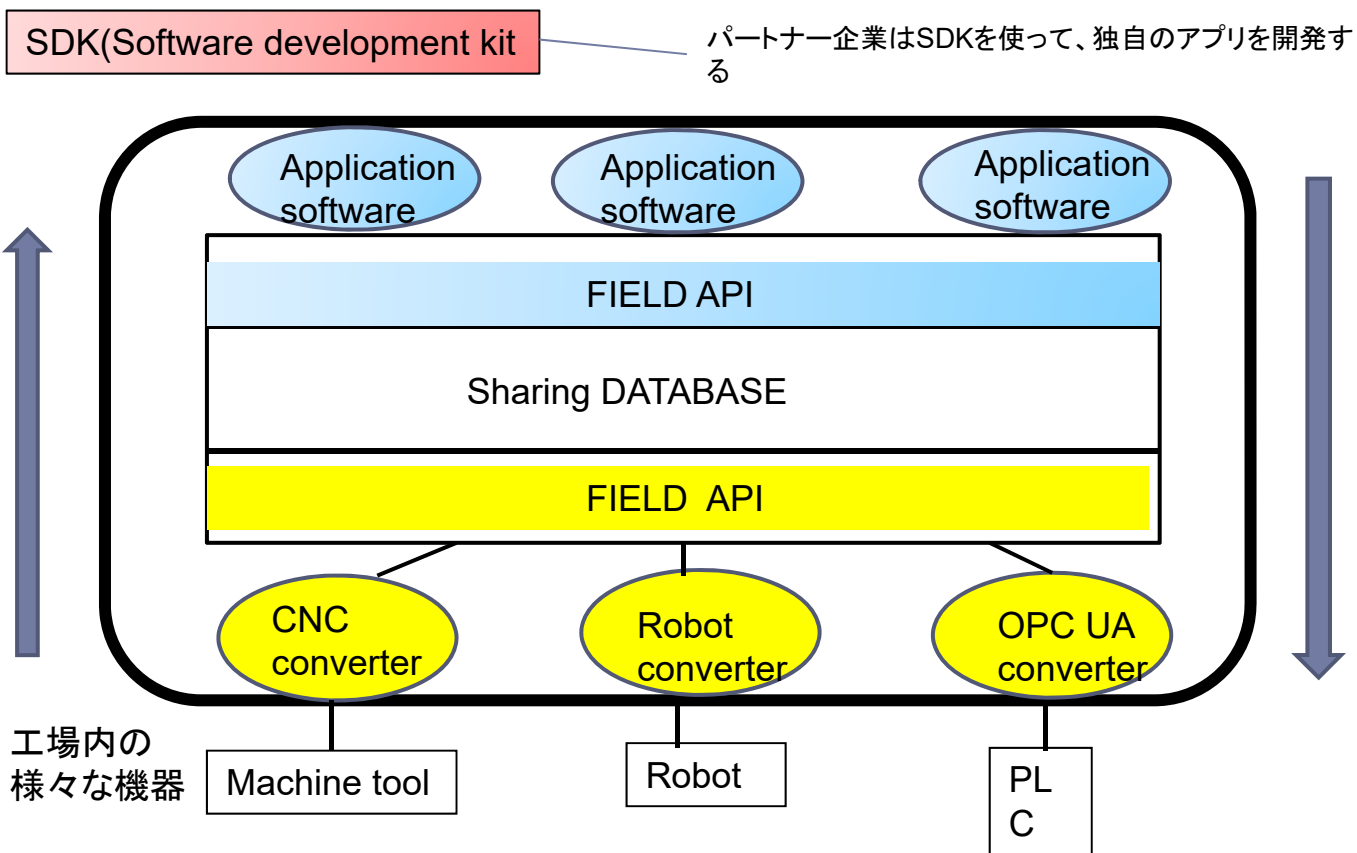
SCOTのメリットと実装状況

- ▶ 手術プロセス全体が、手術の時系列データとして、映像データとともに保存、解析できる。
- ▶ 手術中の情報が時々刻々とリアルタイムに提供されることで、診断と治療が融合されて、精密誘導治療が可能になる。
- ▶ 2016年以降、広島大学、信州大学、東京女子医大へと順次導入される。

IoTプラットフォーム競争に突入したFA産業

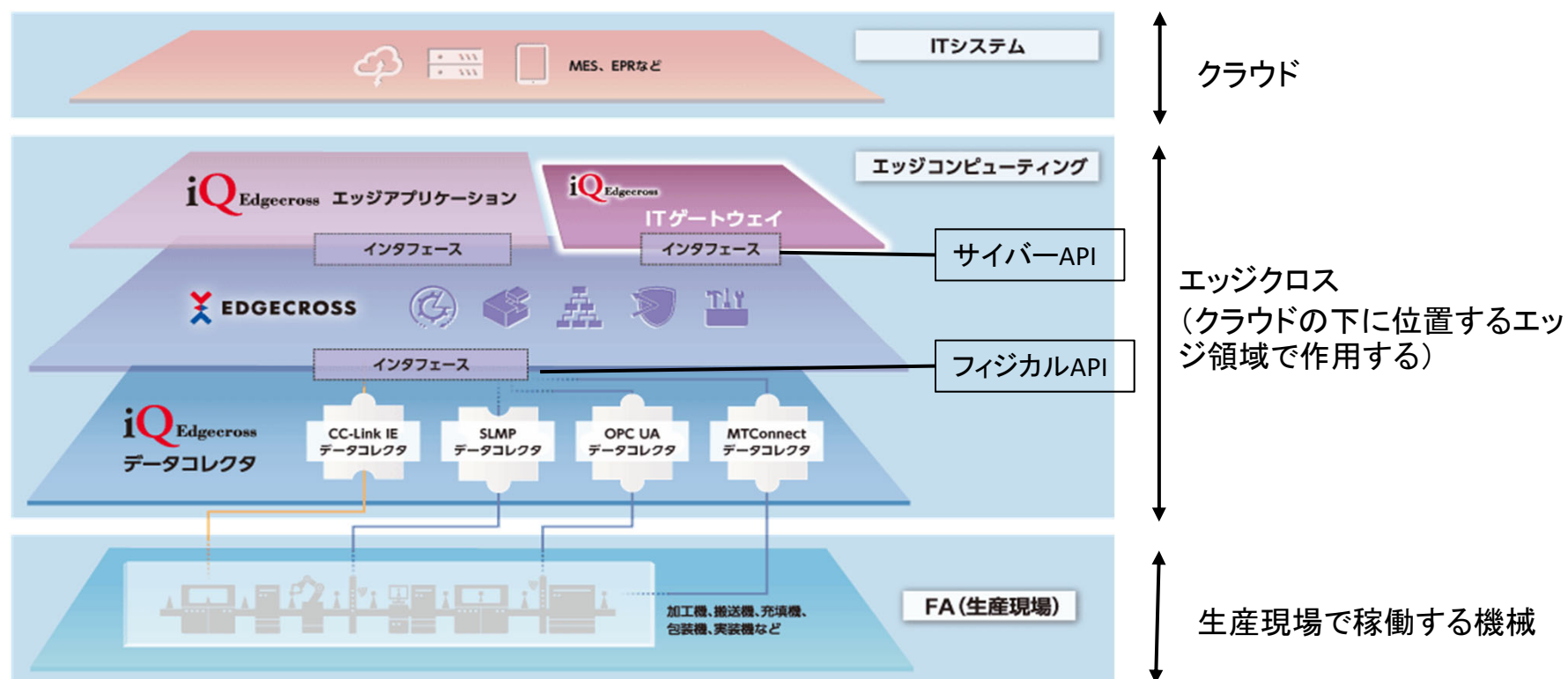
- ▶ ファナック FIELD SYSTEM
- ▶ 三菱電機 Edgexcross
- ▶ DMG森精機 ADAMOS(開発拠点はドイツ)
- ▶ APIの設計思想は3社で異なる。APIのデータ分析力と種類数が重要。
- ▶ プラットフォームの乱立は、国としての競争力低下をもたらす可能性大
- ▶ そこで経済産業省は2018年「製造プラットフォームオープン連携事業」で、連携機能開発を3社に促す。

ファナックFIELD システムのソフトウェア構成



出所:「革新的なIoTプラットフォームFIELD System」FANUC Technical Review 2019夏Vol.27 No.1を修正

エッジクロスのアーキテクチャ



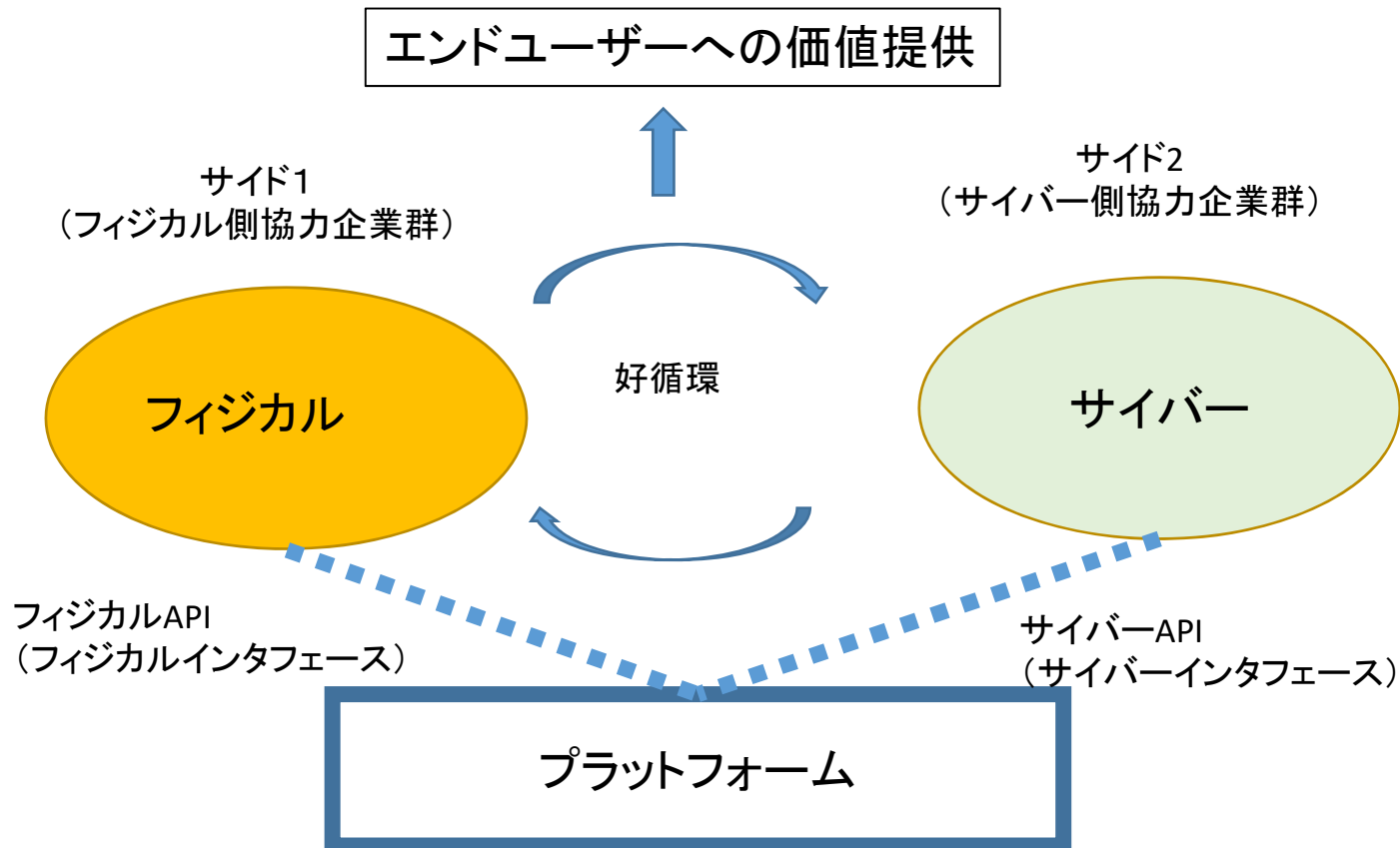
出所:三菱電機ホームページを一部修正

フィールドシステムとエッジクロスの統治構造

	フィールドシステム	エッジクロス
APIの中身	APIが提供する機能のきめ細やかさやデータ分析力が、アプリケーションの作りやすさに影響を与える	同左
アプリの品質管理の仕組み	アプリ毎にファナックの審査がありそれを通過しなければ、マーケットプレイスに出店できない	特別な審査はなく、パートナーであれば出店できる。
CPSの統治構造（ガバナンス）	ファナック中心	一般社団法人エッジクロスコンソーシアム（7社で）が中立的に行う。

スマホにおけるアップルの場合、同社のセキュリティ審査を通過せずに、新規配信や更新が却下されたアプリは、2021年に160万強だった。主たる理由は、不具合やプライバシー侵害。申請件数の約4割は却下されているとの情報（日経）

サイバーとフィジカルで働くネットワーク効果



まとめ 日本にとっての主戦場 CPS

- 純粹サイバーの世界では、日本は大きく出遅れた。
- しかしCPSはサイバーとフィジカルの融合領域である。から、CPSという山をどちらからでも上ることができる。
- (例) スマートシティにおけるトヨタのウーブン・シティとグーグル主導のカナダ トロントにおけるプロジェクト
- 日本が持つフィジカルに関する知見とノウハウをどのように生かせるのか？
- オープンCPSは3層構造のソフトウェア主体であり、モジュラーの入れ込構造を形成している。モジュラー戦略の理解が重要。



IoTとCPSの時代 モジューラー戦略の正しい位置づけが必要

