

10<sup>th</sup> CMI Symposium

## CMIにおける研究成果と産官学連携

Research Achievements in CMI and Industry-Academia-Government  
Collaboration Research

2022/10/21

川崎重工業株式会社 航空宇宙システムカンパニー

生産総括部 生産企画部 生産技術課

基幹職 大槻 直洋

 **Kawasaki**  
Powering your potential

かわる、  
さきへ。

Changing forward

# Today's Agenda

Section 1 Company Profile

Section 2 Recent CMI topics

Section 3 Achievement of CMI research

Section 4 Kawasaki R&D Strategies

Section 5 Future topic for

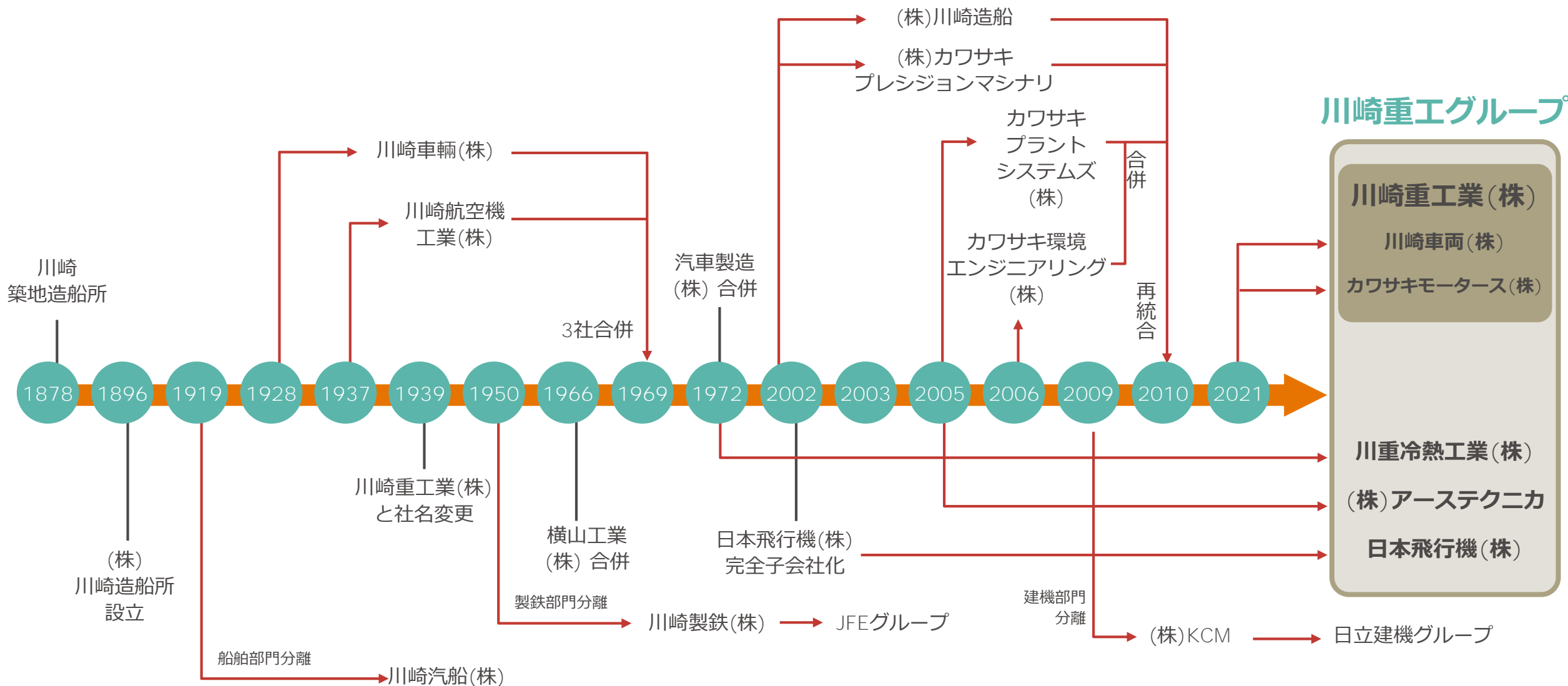
Industry-Academia-Government

# Section 1 - 会社概況 / Company Profile

---

1. 商号 川崎重工業株式会社
2. 本社所在地  
神戸本社 神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号  
東京本社 東京都港区海岸1丁目14番5号
3. 創業 明治11年（1878年）4月
4. 設立 明治29年（1896年）10月15日
5. 資本金 1,044億円
6. 従業員数 36,587人（連結）
7. 連結子会社数 100社（2022年4月1日現在）
8. 主要生産拠点 国内17ヶ所 海外21ヶ所

# Section 1 - 沿革





Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Aerospace Systems

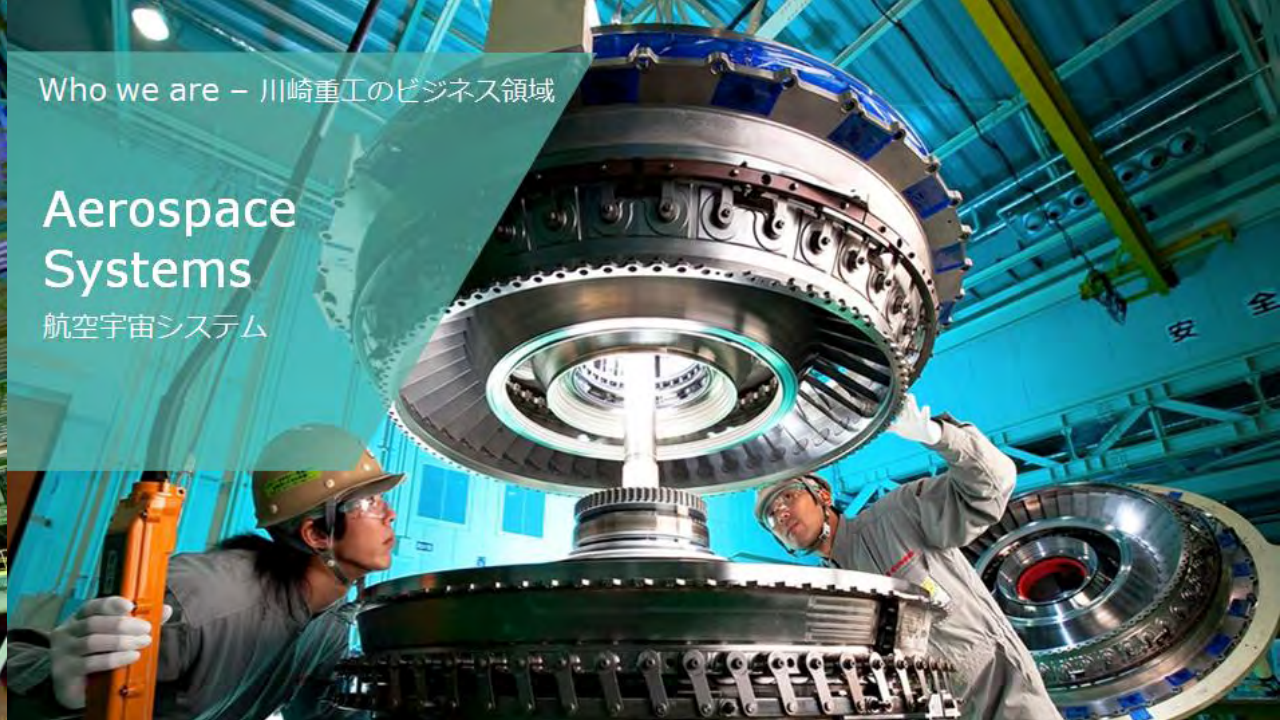
航空宇宙システム



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Aerospace Systems

航空宇宙システム



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Energy System & Plant Engineering

エネルギー・環境プラント



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Rolling Stock

鉄道車両





Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Precision Machinery

精密機械



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Robot

ロボット



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Motorcycle & Engine

モーターサイクル&エンジン



Who we are – 川崎重工のビジネス領域

## Ship & Offshore Structure

船舶海洋







# One Kawasaki Land. Sea. Air. Worldwide



---

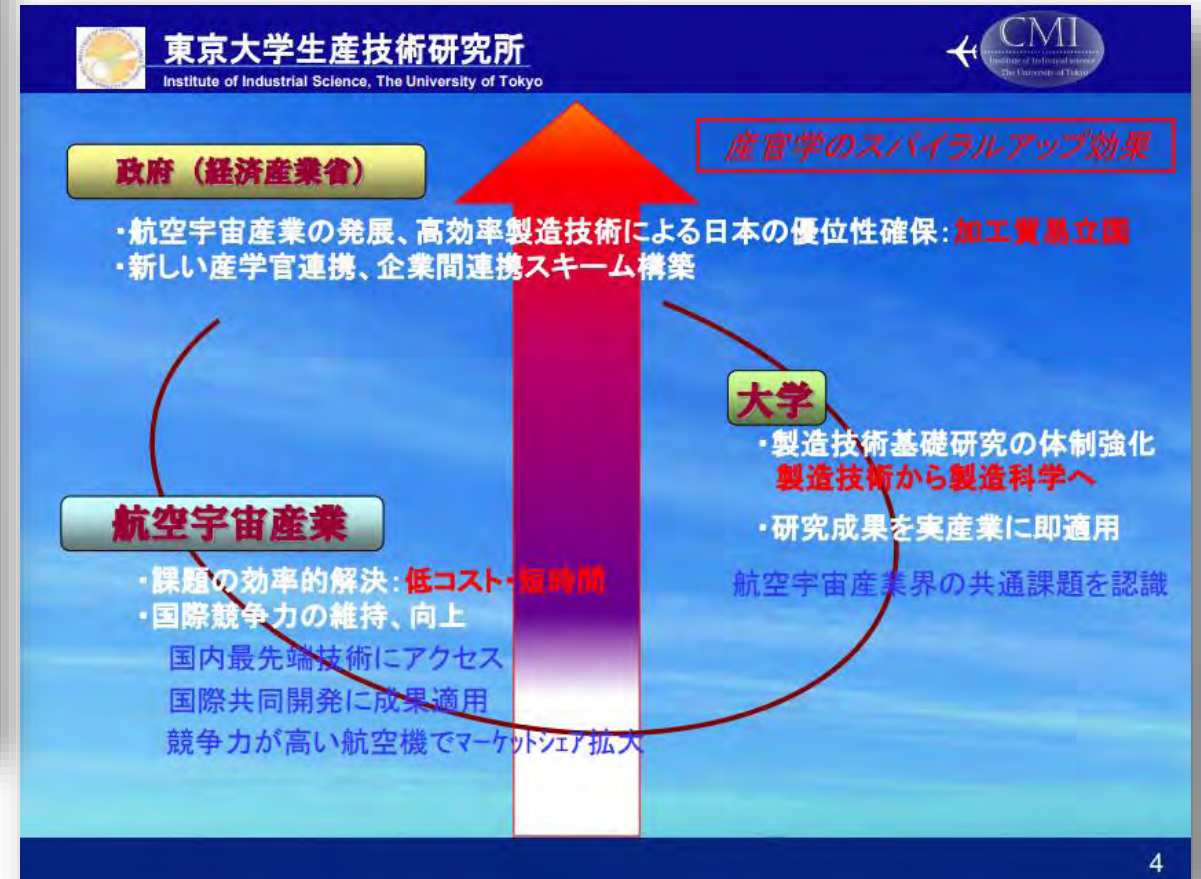
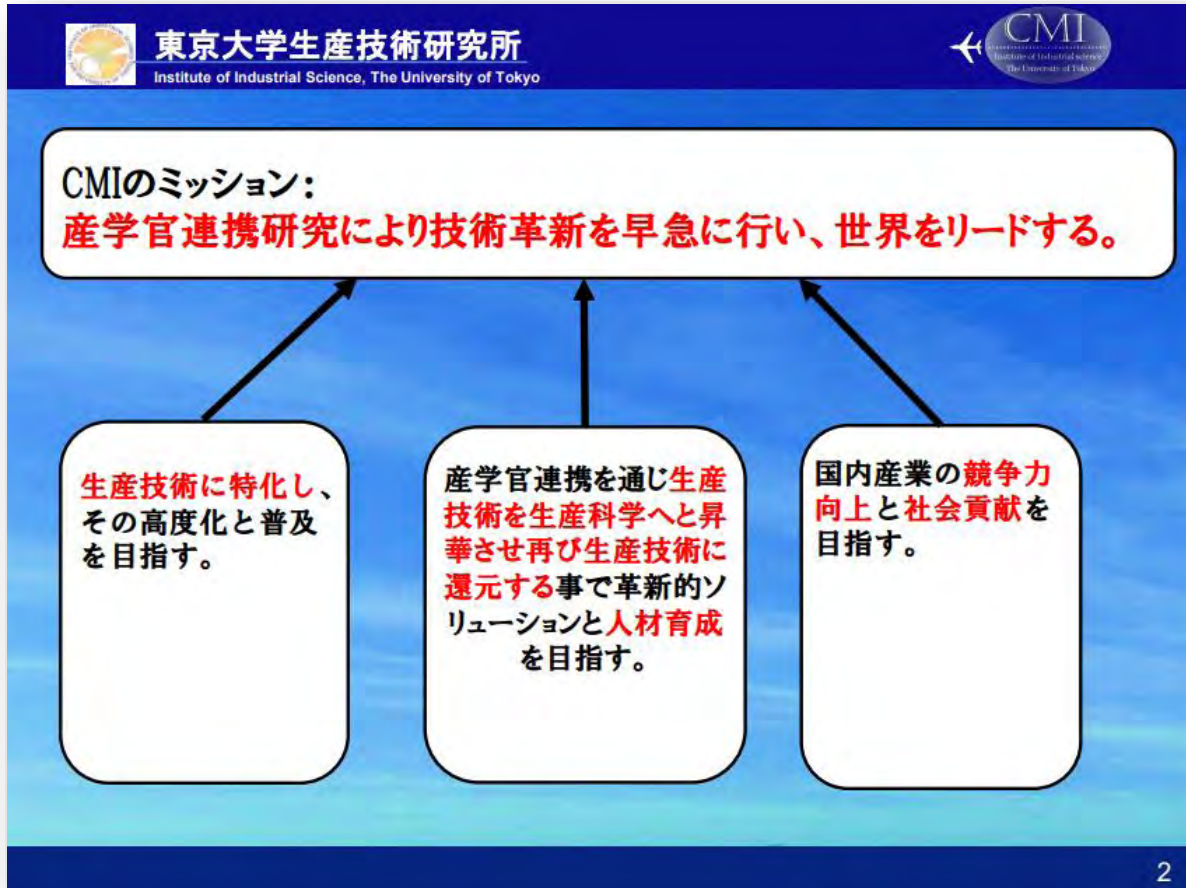
# Section 2

## CMI 2<sup>nd</sup> Term





# CMI 2<sup>nd</sup> Term



2013年 第1回 CMIシンポジウム 橋本先生 発表資料より

# CMI 2<sup>nd</sup> Term



Post Covid19



EV

Carbon Neutral

SDGs



Recent Industry R&D @ 2021

## CMI research

- ロボット切削 - 3次元測定制御技術の基礎的開発
- ロボット切削 - 6軸制御の誤差予測
- 残留応力データの収集と残留応力低減法の開発
- 高難易度部材加工プログラムのアルゴリズム提案
- 複合材切削技術開発
- Metal Deposition
- 大面積フェイスール塗布技術の開発

時代のトレンド  
生産現場のニーズ



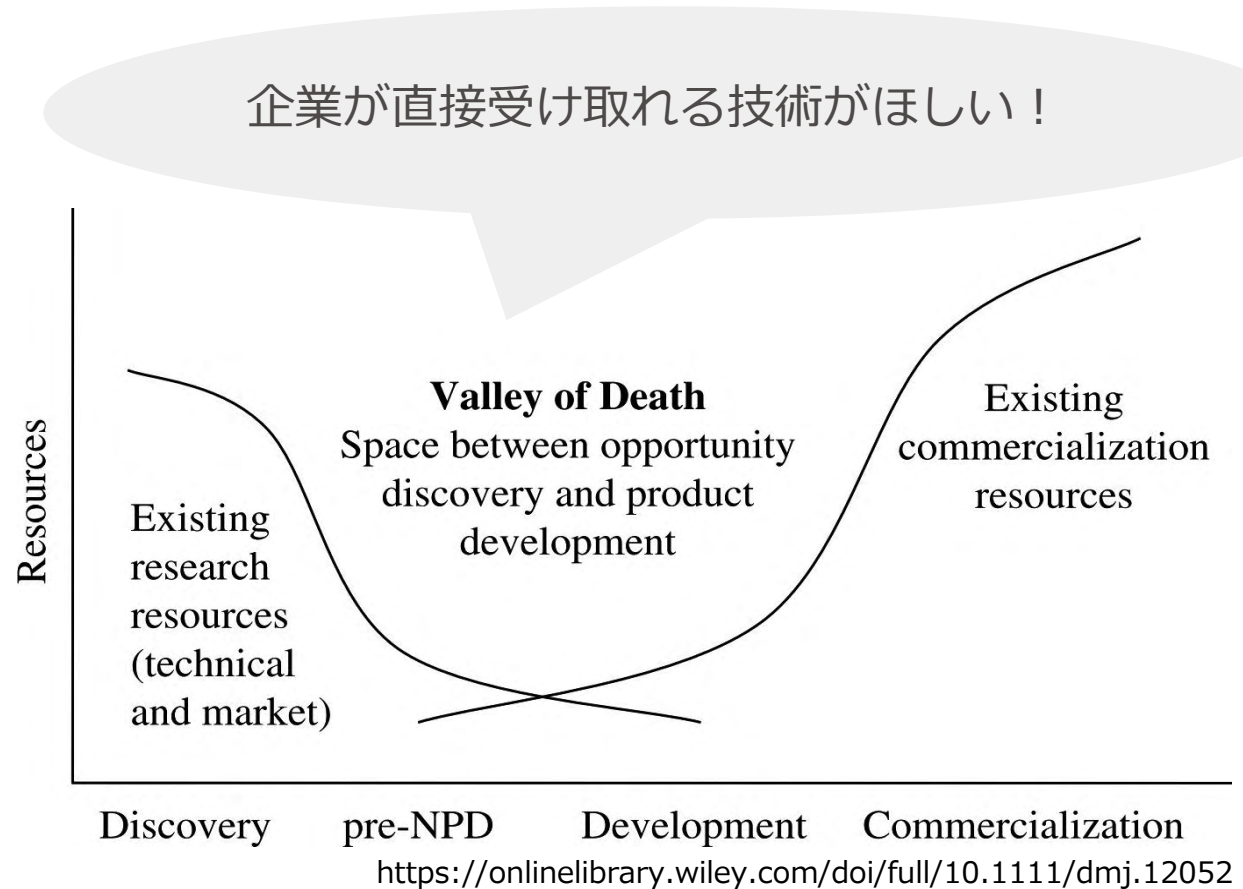
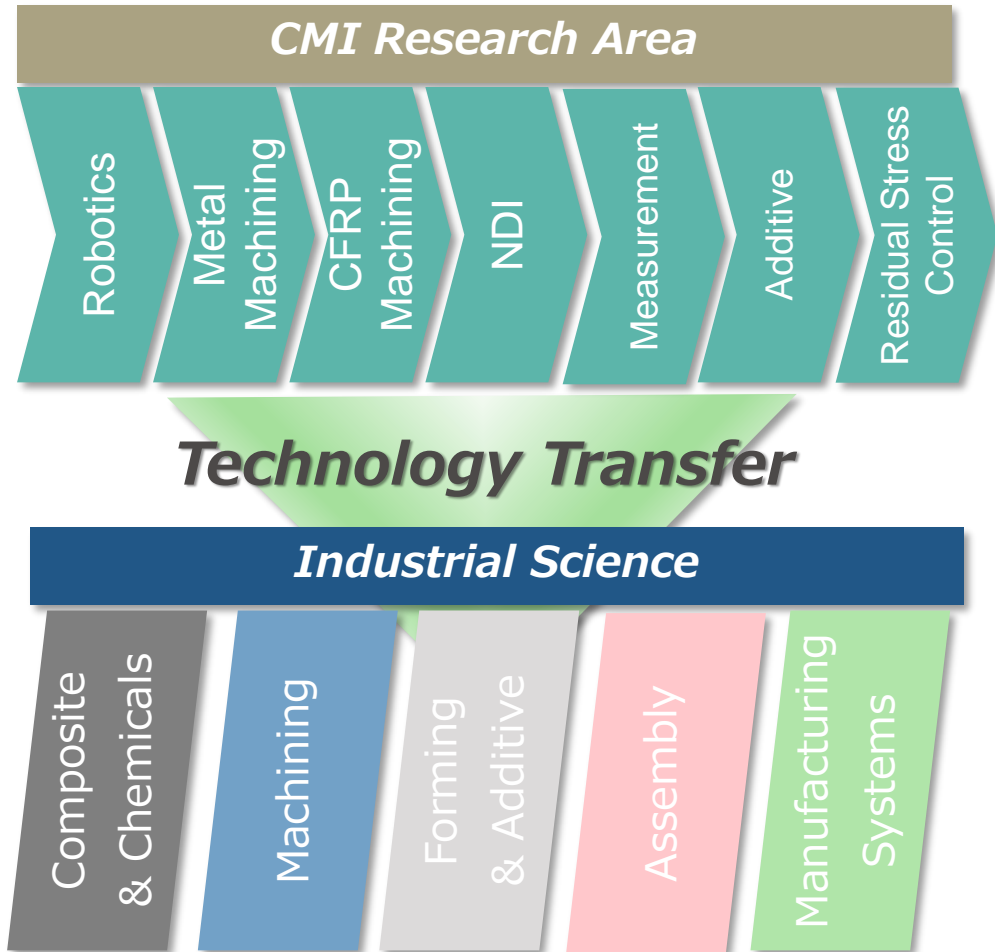
---

## Section 3

# Achievement of CMI research



# Achievement of CMI research

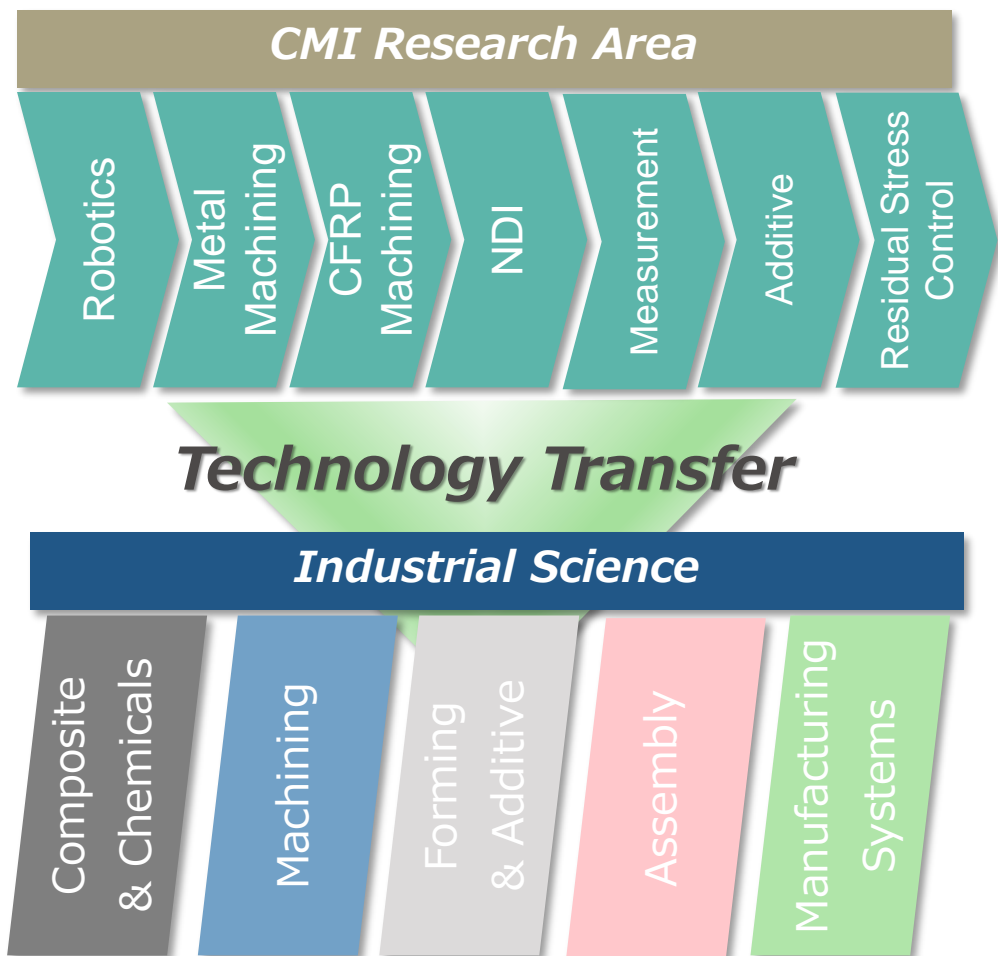


加工技術は実態がないので、目に見えない情報資産になることが多い…

どのように産学連携を進めればよいか？

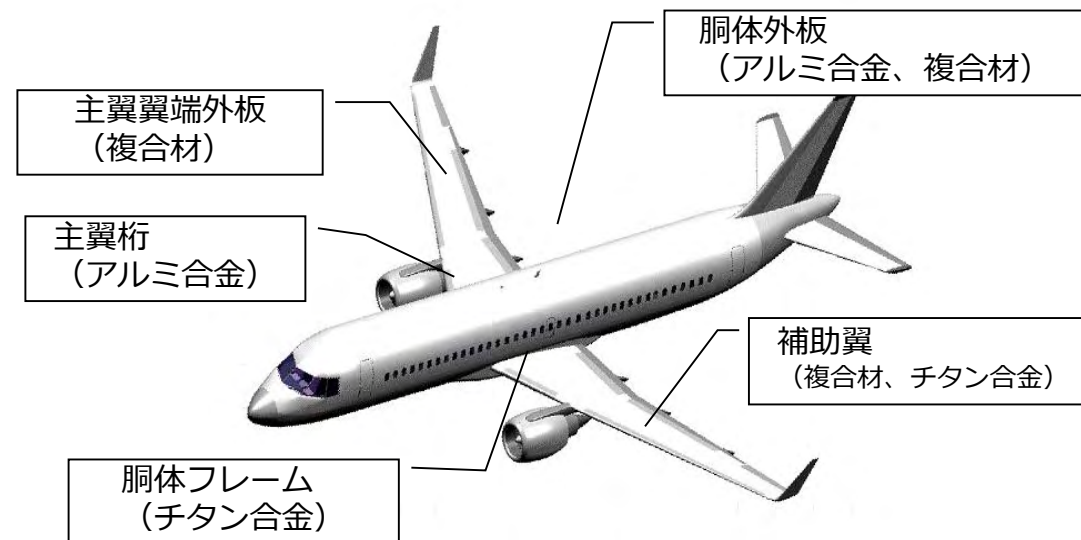


# Achievement of CMI research



## 実際のCMIの活動

- 大学でしか取り組めないチャレンジングなテーマ設定
- 失敗も許容しつつ、失敗したデータも十分に分析
- 実験方法やデータ分析の過程も深く探求
- 原理原則論に立ち返りつつ、企業が理解できるまでサポート



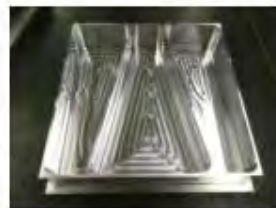
### ■ポケット加工の工程短縮

手仕上げ工程の削減

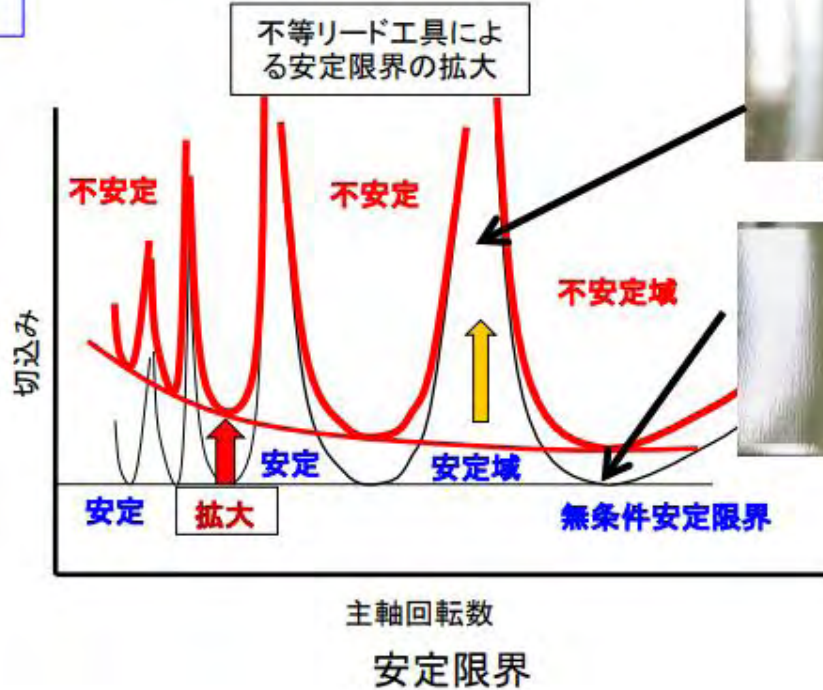
アルミ部品: 点数が多い → コスト削減の効果: 極めて大

びびりのないリブ加工の実現  
レベルの高い技術開発課題

- ・仕上げ面の品位向上
- ・手仕上げ工程の削減
- ・側壁部の高速仕上げ加工の実現  
軸方向切込み50 mm
- ★高回転速度の安定域を使用
- ★最適エンドミルの製作



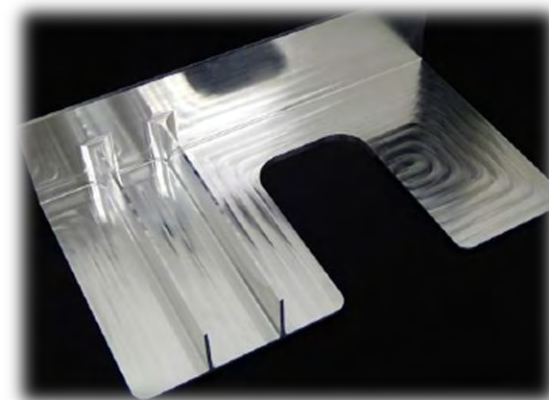
- ✓リブが高い(50mm)
- ✓リブの剛性が低い(厚さ3mm)



びびりなし



びびり発生





# Al-Li薄板加工技術の開発

## ■アルミニウム合金の切削後の変形が大きい

- ・物性値の影響: 熱伝導率 Al-Li alloy < Al alloy  
→ 切削温度が高い
- ・切削残留応力が大きい。薄板では一般に、  
切削残留応力 > 素材の残留応力
- ・コスト高の要因: 切削後の矯正作業、低切削速度

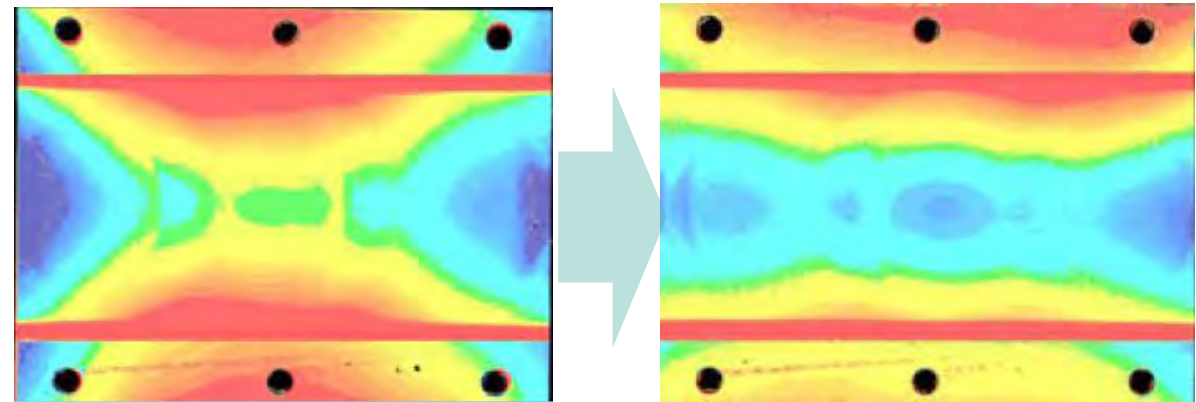
## ■アルミニウム合金の変形量の低減

- ・切削残留応力の低減(切削加工技術で最も難しい課題)
- ・切削加工のデータ不足、学術的な報告はほとんど無い



正面フライス加工後に変形したAl-Li板  
(両側の把持部は加工後に切断)

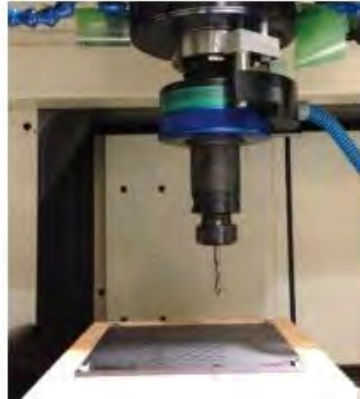
反転仕上げ法を駆使した歪抑制の例



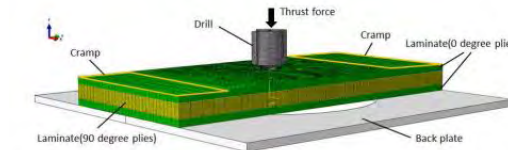
# CFRP・チタン穿孔現象の解明

- ・デラミネーション(剥離)の抑制
- ・工具摩耗の抑制
- ・切削条件の最適化
  - CFRP内最高温度の制御(劣化防止)
- ・大孔径, 重積材に対する切削条件の最適化

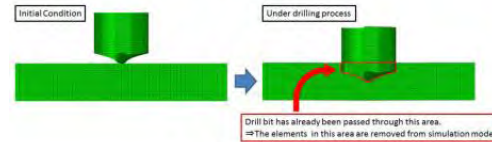
✓ 数値解析による切削力, 切削温度, 工具摩耗, 切りくず流出方向の予測  
 + 工作物内(三次元)温度履歴の予測



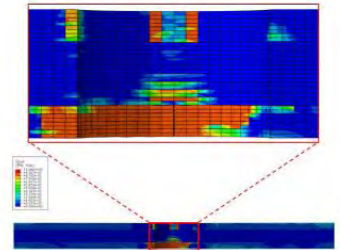
- 有限要素による損傷モデルの構築  
 工作物内の損傷を重視した解析  
 ドリル入口での損傷(剥離): 積層の引き上げ  
 ドリル出口での損傷(剥離): 積層の押し下げ



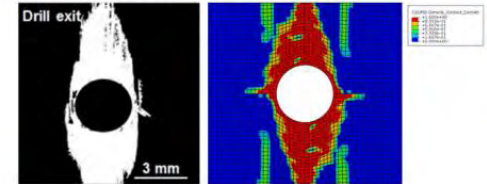
有限要素モデル



簡易切削モデル



CFRP内部の損傷(横断面)

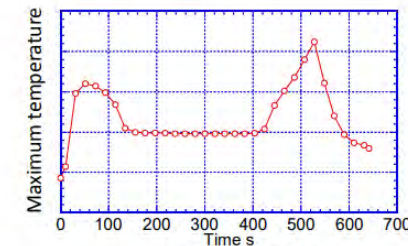
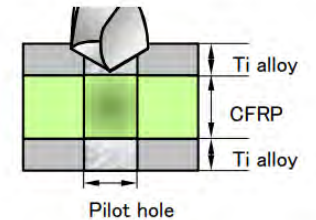


実験

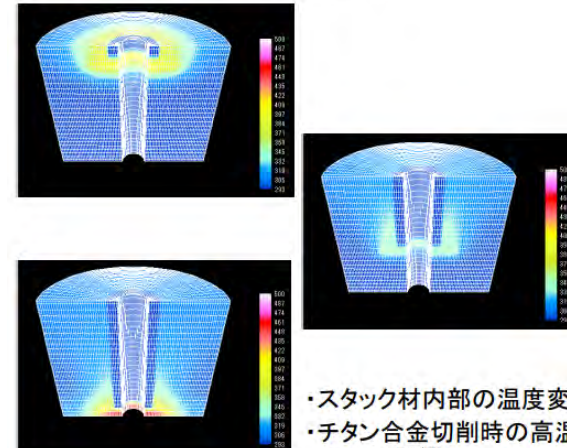
解析

出口での損傷

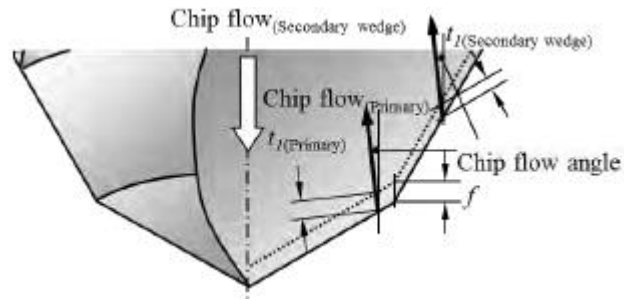
- チタン合金とCFRPの重積材  
 ・穴あけにおける工作物内温度分布予測  
 → CFRPの熱的損傷の回避



工作物内の最高温度  
(CFRP内の最高温度ではない)



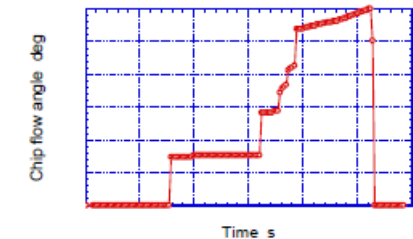
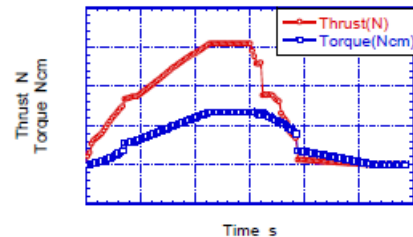
- ・スタック材内部の温度変化.
- ・チタン合金切削時の高温がCFRPに影響



工具摩耗 → 摩耗したドリルの切削力

工具摩耗モデル

$$\frac{dW}{dt} = A \sigma_n V_{real} \exp\left(-\frac{B}{T}\right)$$

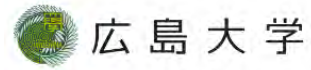


切削力と切りくず流出角



# ロボット切削 - 3次元測定制御技術の基礎的開発, 6軸制御の誤差予測

6軸制御の誤差予測 オフライン補正



3次元測定制御 オンライン補正



東京大学  
生産技術研究所  
Institute of Industrial Science,  
The University of Tokyo

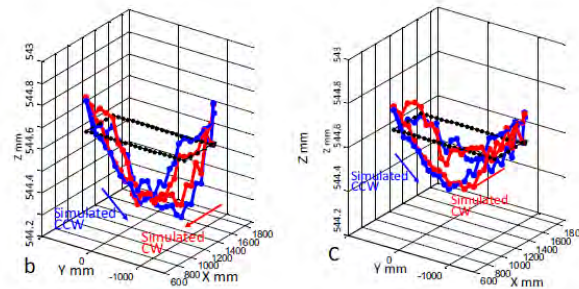
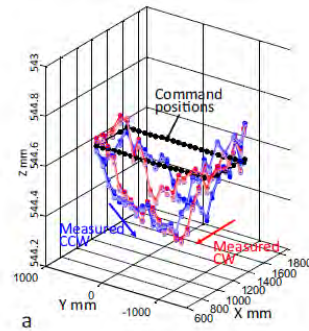
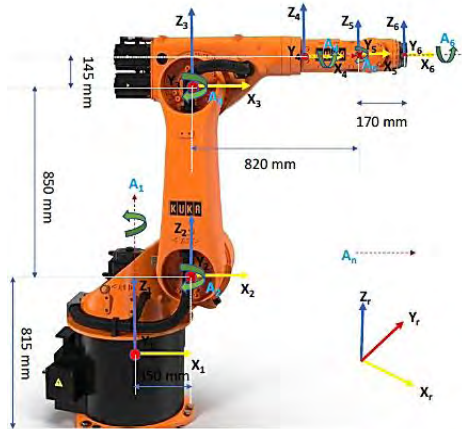


Fig. 10. Comparison of positioning errors in Z direction on Path 1, a) measured by tracking interferometer (measured three times), b) simulated by the model without the axis-to-axis crosstalk, and c) simulated by the full model with the axis-to-axis crosstalk.



世界に先駆けた  
オンライン・オフライン補正を  
両立させる技術開発

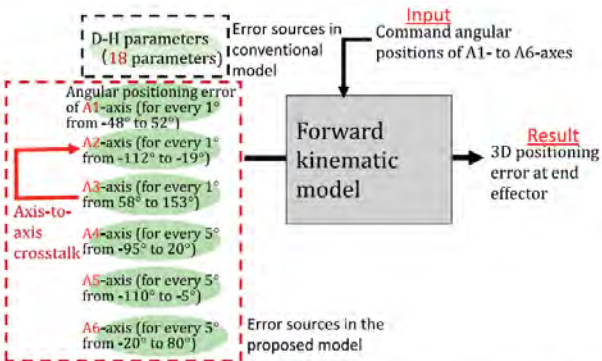


Fig. 3. Input/output relationship of the proposed model (the command angles are for the setup in Section 3).

Novel six-axis robot kinematic model with axis-to-axis crosstalk.  
S.Ibaraki, K.Fukuda, CIRP Annals, 70(2021) 411-414

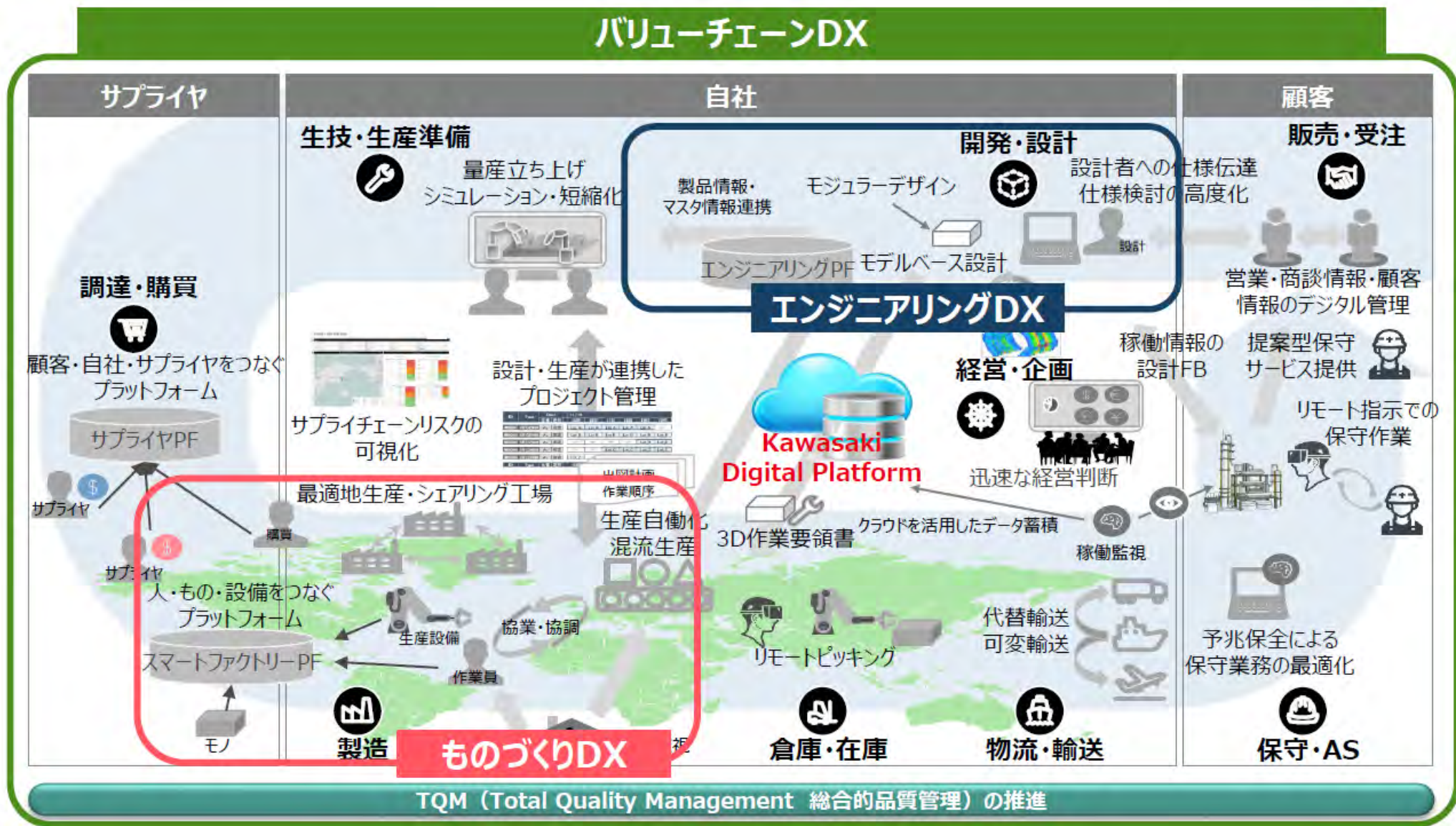
---

# Section 4

## Kawasaki R&D strategies

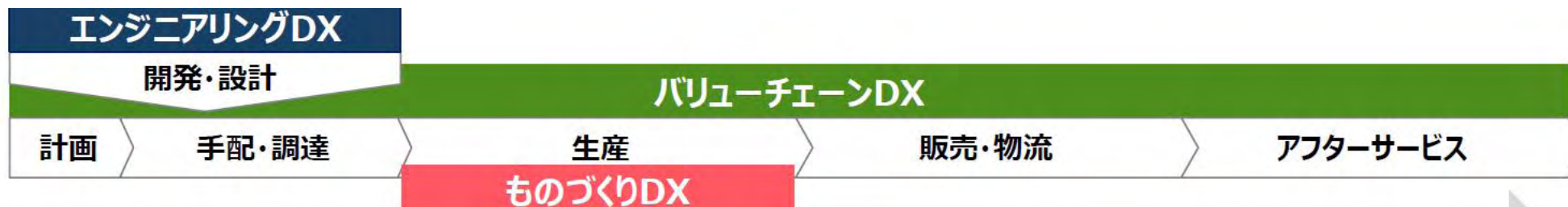


# Kawasaki R&D Strategies 全社取り組み





# Kawasaki R&D Strategies 全社取り組み



## 横のデジタル化

縦のデジタル化

デジタルテクノロジーを活用した商品企画・開発のスピードアップ

3D・デジタルツインによる開発フロントローディング

システムエンジニアリング・モジュラーデザインの導入

項目	2022	2023	2024
設計数(台)	360	246	184
開発期間(日)	3	7	10
開発コスト(万円)	500	1,000	1,500

モジュラー情報

人・もの・設備情報を一元管理し、サプライヤーとデータ連携することで生産活動を効率化

スマートファクトリーの実現

MECS Systems, Cloud Edge, 知サイタルでの生産調整, シンクロA

ロボット化・自動化の促進

SFAを活用して形式知化されたノウハウを基に、顧客の潜在課題に対する提案型営業へシフト

デジタルを活用した提案型営業

3D シミュレーション

顧客ごとにカスタマイズされたデジタルマテリアル

リアルタイム見積

コンフィグレータ デジタルツインなど

デジタルテクノロジーを活用した熟練者の遠隔サポートによるサービス品質向上

ウェアラブルデバイスを活用した遠隔サポート

ウェアラブルデバイス

遠隔支援

映像・音声共有

修理対応

**Kawasaki Digital Platform** 情報一元化基盤

**経営・事業管理** 重要経営指標のタイムリーな把握、外部情報やAIを駆使した高度な将来予測・リスク管理

**TQM (Total Quality Management 総合的品質管理) の推進**

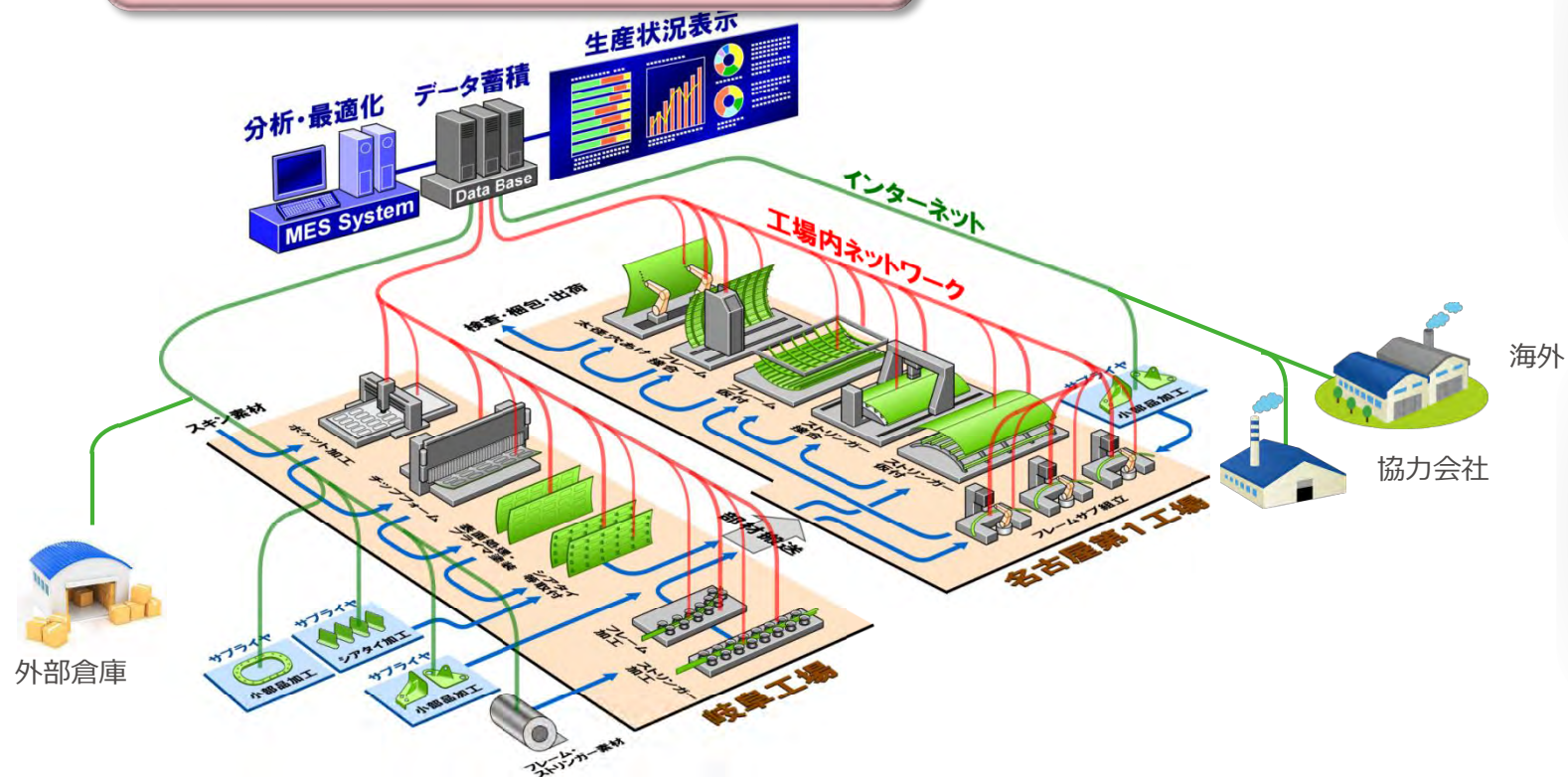


# Kawasaki R&D Strategies 航空宇宙部門取り組み

## 工場管理の現在地 ~リアルタイムマネジメント~

### リアルタイムマネジメント

収集されたデータをもとにリアルタイム可視化  
最適化に向けた制御、意思決定の迅速化

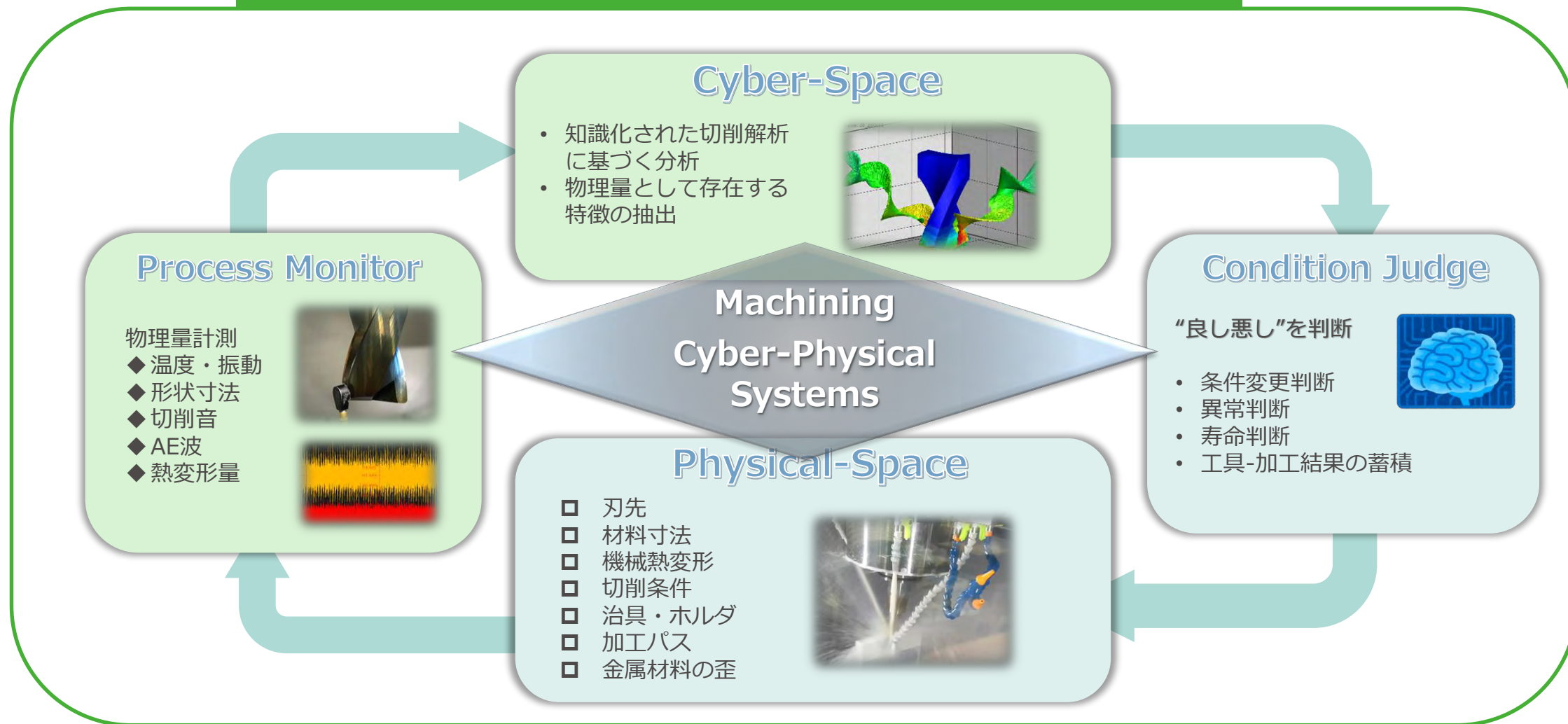


拠点別状況

設備状況

# Kawasaki R&D Strategies 航空宇宙部門 研究成果導入

## 部品加工プロセスのCyber-Physical System構想





---

## **Section 5**

# **Future topic for Industry-Academia-Government**

# Future Topics for Industry-Academia-Government



Post  
Covid19

EV

Carbon Neutral

SDGs



Recent Industry R&D @ 2021

- ポストコロナを考える
- CN/EV… 長期課題

*Fundamental & Applied Eng.*

切削、複合材製造、計測、制御、センサ、溶接、レーザー、電気、電子、機械要素…

CN対応の航空機構造

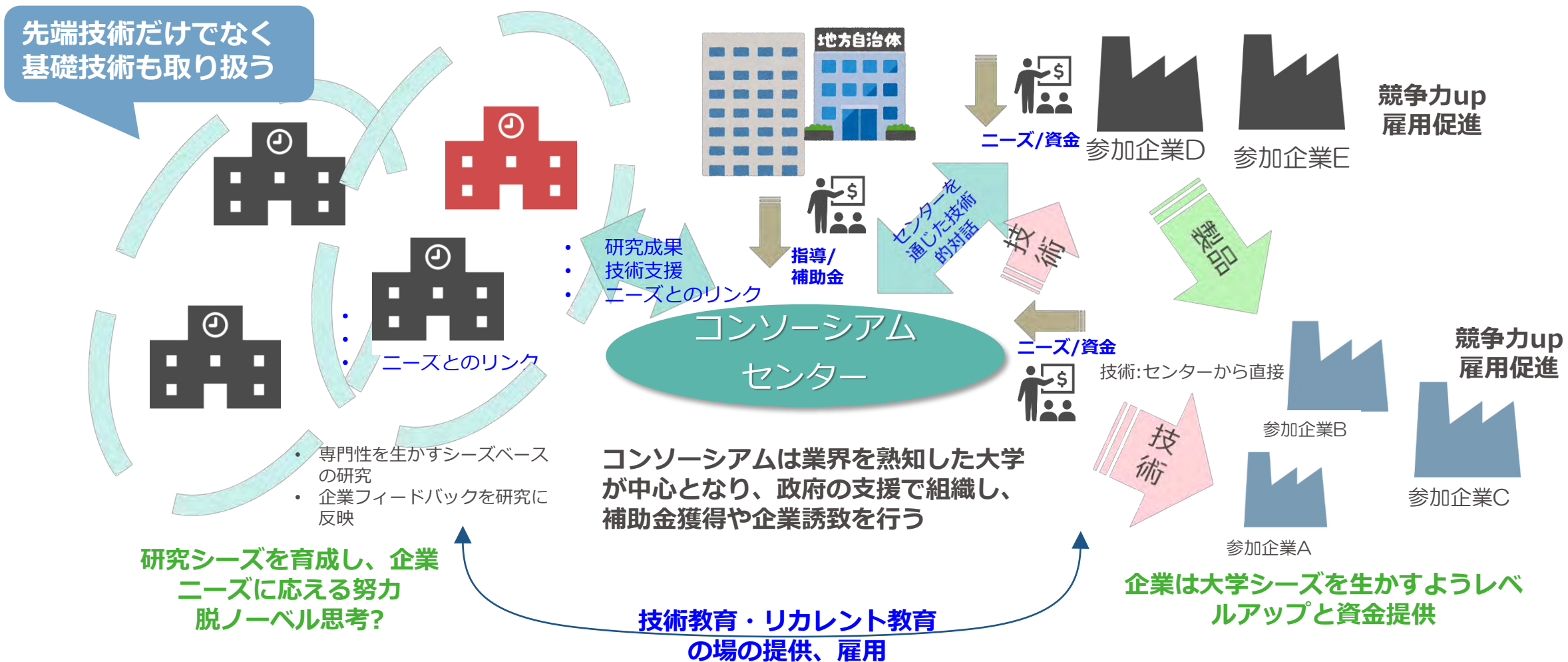
- 環境適合性, 運航経済性
- 複合材料等の軽量材料の開発
- マルチマテリアル+部品形状の複雑化

切削等の加工技術がさらに重要視される



# Future Topics for Industry-Academia-Government

ある国における産官学連携コンソーシアムの例





安全安心リモート社会

New Values



Cross Over

# つぎの社会へ、 信頼のこたえを

Trustworthy Solutions  
for the Future



エネルギー・環境ソリューション



近未来モビリティ

Frontier

