

循環経済を実現する持続可能なものづくり

東京大学 大学院工学系研究科

精密工学専攻

教授 梅田 靖

日本学術会議第3部機械工学委員会生産科学分科会

- 目的
社会の持続可能性に貢献する製造業の姿についての科学的根拠に基づく課題設定を行い、生産活動が製造業の枠を超えて社会インフラに組み込まれる具体的な社会実装への道筋を検討:
 - 持続可能な社会におけるものづくり産業と社会の在り方
 - 上記の在り方を社会実装するために必要な環境条件

	佐田豊	東芝
副委員長	須藤雅子	ファナック
	光石衛	大学改革支援・学位授与機構
幹事	足立幸志	東北大学
	伊藤宏幸	ダイキン工業
委員長	梅田靖	東京大学
	厨川常元	東北大学
	佐々木直哉	立命館大学
	鈴木宏正	東京大学
	塚田竹美	本田技研工業
幹事	廣野陽子	DMG森精機
	藤田喜久雄	大阪大学
	松田三知子	神奈川工科大学
	松原厚	京都大学

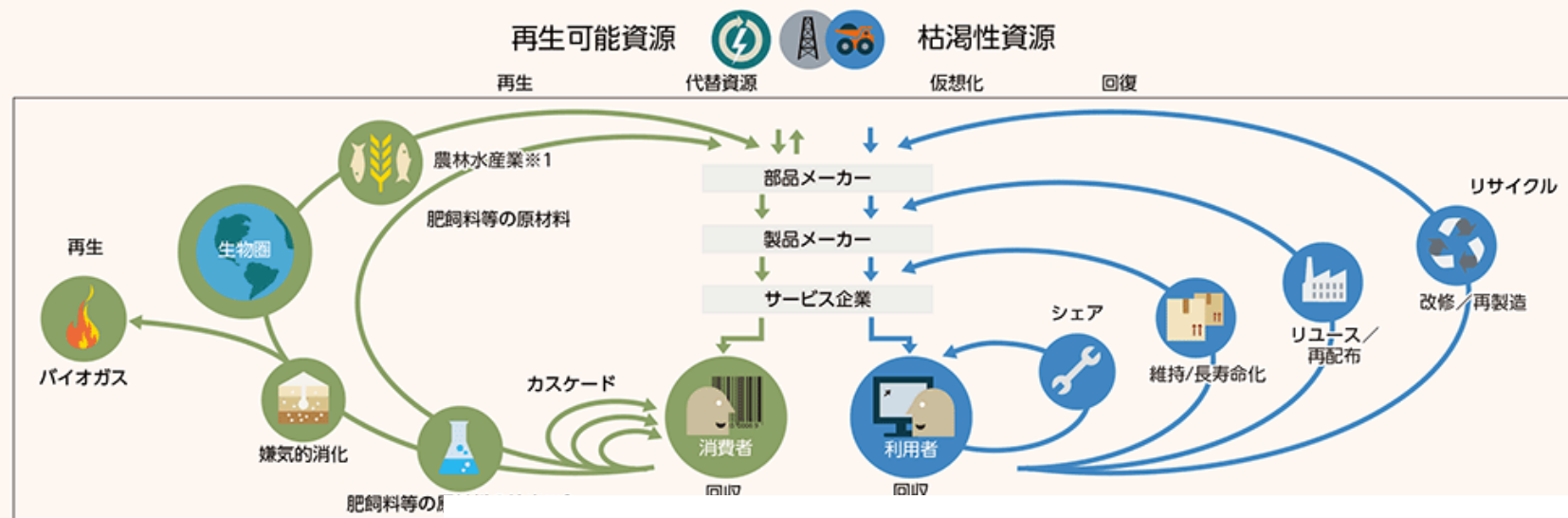
本学術フォーラムの狙い

- 本分科会では、循環経済に代表される持続可能社会実現に向けた製造業の在り方、消費者との連携を含む製造業が取るべきアクションについて議論してきた
- 本フォーラムでは、このような製造業の構造転換の必要性、実現可能性、実現に向けた課題・論点について、人文・社会科学、工学の視点から総合的に議論し、広く参加者の意見を聴取し、双方向の対話を行う

Circular Economy (CE)のイメージ

[環境白書, 2016]

図3-1-1 EUが提案する循環経済（CE）のイメージ



注： ※1 狩猟と漁撈（ろう）

※2 収穫後と消費済の廃棄物の両方を

資料：Ellen MacArthur Foundation, SUN, Cradle (C2C)より環境省作成

Why CE?

- EUのサステナビリティの考え方
- ビジネス/ものづくりのやり方についての変革の方向性
- 持続可能でない大量生産・大量消費社会から脱却した新しいものづくりへ移行するための強力な起爆剤

EUのCEの2つの柱

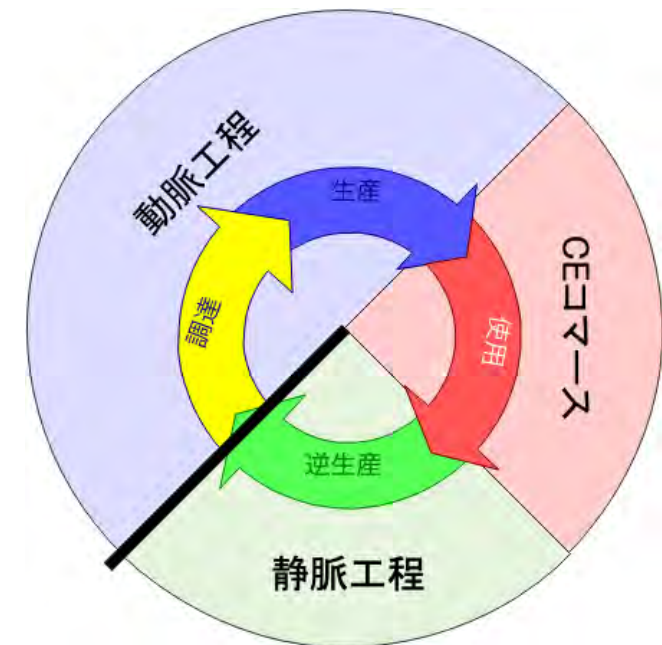
- 大量生産・大量販売・大量廃棄じゃない社会を作る
 - 従来の資本主義経済の下で何とか循環を成立させよう(循環型社会)というのではなく
 - 環境問題の枠内に留まらず、経済の仕組み自体を変える
 - 市場競争の座標軸を変える
 - ものづくり/価値提供のやりかたを変える
 - » 例えば、シェアリング、サブスク、PaaS、・・・(しかし、シェアリングetc.はSustainabilityから出てきたものではない。相乗効果)
 - » 長寿命化/長期使用、メンテナンス、アップグレード、リマニュファクチャリング
- リサイクルからリソーシング [日本生産性本部 喜多川 2024]
 - 再生材の活用を前提とした製造、再生なくして製造なし
 - 廃棄物のリサイクルでは無い(第一次CE政策パッケージ2015はこっち)
つまり、
循環が当たり前に成り立つ経済、社会を作る

リソーシングへの移行の痛み: リサイクル材争奪戦

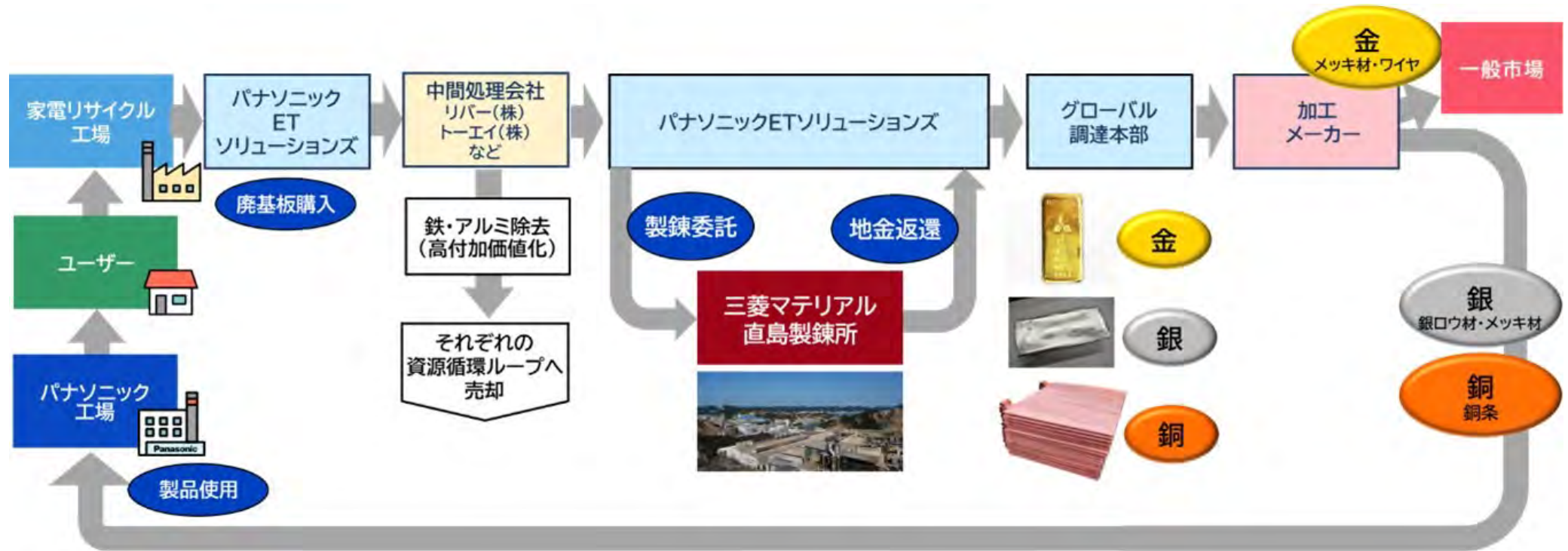
- 電池規則
 - リサイクル材料由来Co、Ni、Liなどの量が最低割合を満たしていることを示す技術文書を作成、電池に添付
 - » 2027年: リサイクル材の含有率を表示
 - » 2030年から使用率の最低値を導入
 - 2030年: Co= 12%、Li= 4%、Ni= 4%
 - 2035年: Co= 20%、Li= 10%、Ni= 12%
- ELV規則案
 - 新車製造のためのプラスチックのうち20%をリサイクル材由来にする、うち、15%を自動車由来に
 - » PIR、バイオベースプラ、ケミカルリサイクルどれもあり
- エコデザイン規則(ESPR)
 - OA機器、家電製品についても類似の条項(委任法令)が入ってくるのでは？

動静脈融合の必要性

- × 廃棄物のリサイクル処理
- 使用段階が最も重要だが「動静脈連携」にはない
- 「量」と「質」と言われるが、SCM、QCDの問題
 - － 動脈側: 製品pull
 - » Q: 作るべき価値は設計で決まる
 - » C: 大量に作れば安くなる、コストに合うもの持ってこい
 - » D: 生産計画が決まっている
 - － 静脈側: 廃棄物push
 - » Q: 廃棄物からどこまで価値を取り出せるか
 - » C: 入って来たものの次第
 - » D: 入って来たものの次第
- これらのメンタリティの壁を壊さないと、循環は実現できない
- 一連の「リサイクルプラ」のリソーシングの流れは、両者の意思疎通の良い機会にはなっている



パナソニック・三菱マテリアル 廃プリント基板を活用した持続可能な「PMP (Product—Material—Product) ループ」を促進



ただし・・・

- リソーシングがCEの全てではない
- 脱大量生産ビジネスへ、そのためのLC見える化の過程
- EUは脱大量生産・大量販売ビジネスにブルーオーシャンを人為的に作り出そうとしている

だとすると

- 大量生産・大量販売マインドからの脱却
- もの売り → 価値売り
 - 単純に脱物質化、第三次産業化ではない
 - ユーザの価値、経験(UX)を第一優先
 - 物質的な循環ではなく、価値の循環
 - その価値を高める手段: 技術、品質、サービス、ソリューション

↑ これを売り物にできるか？

- 業態: CEコマース(by METI)



資源有効利用促進法（資源法）改正のポイント

① 再生資源の利用計画策定・定期報告（指定脱炭素化再生資源利用促進製品）

- 脱炭素化の促進のため、再生材の利用義務を課す製品を特定し、当該製品の製造事業者等に対して、再生材の利用に関する計画の提出及び定期報告を求める。

② 環境配慮設計の促進（資源有効利用・脱炭素化促進設計指針）

- 資源有効利用・脱炭素化の促進の観点から、特に優れた環境配慮設計（解体・分別しやすい設計、長寿命化につながる設計）の認定制度を創設。
- 認定製品はその旨の表示、リサイクル設備投資への金融支援など、認定事業者に対する特例を措置。

③ G Xに必要な原材料等の再資源化の促進（指定再資源化製品）

- 高い回収目標等を掲げて認定を受けたメーカー等に対し廃棄物処理法の特例（適正処理の遵守を前提として業許可不要）を講じ、回収・再資源化のインセンティブを付与。

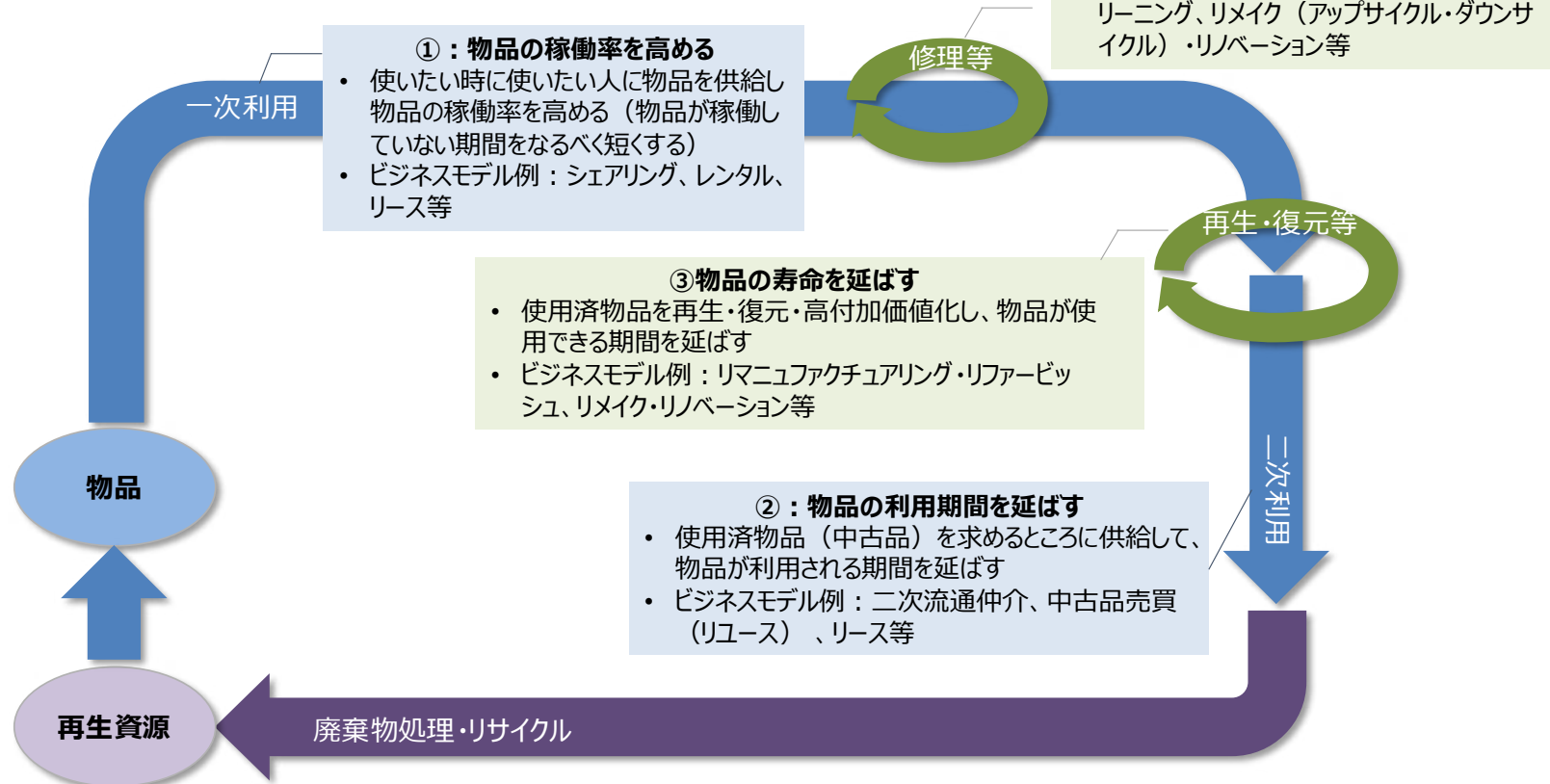
④ C E（サーキュラーエコノミー）コマースの促進

- シェアリング等のC Eコマース事業者の類型を新たに位置づけ、当該事業者に対し資源の有効利用等の観点から満たすべき基準を設定。

Ⅱ. CEコマースビジネスのCE貢献の考え方とビジネスモデル

1 CEコマースビジネスとCEへの貢献の考え方

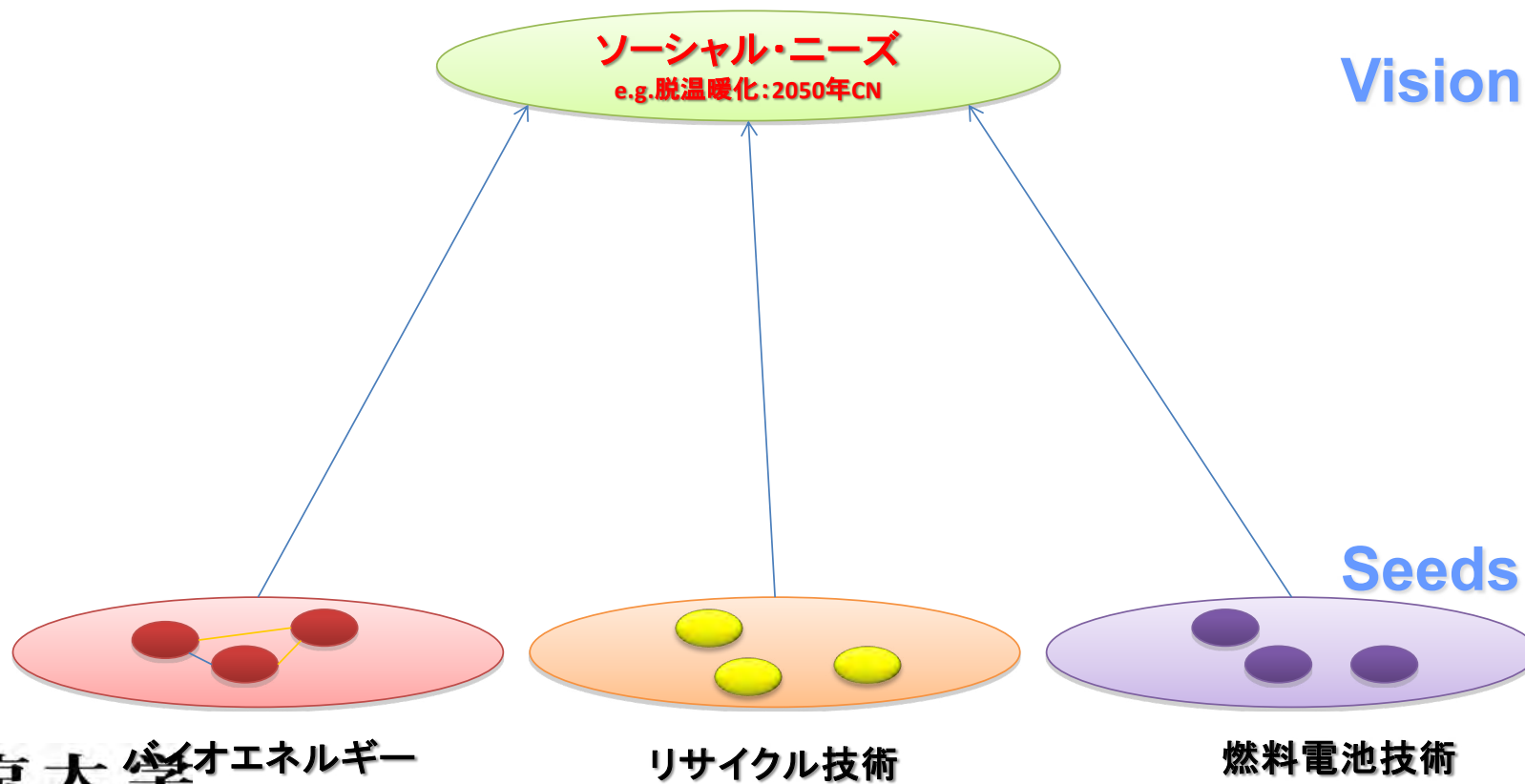
- CEコマースビジネスでは、CEへの貢献として①物品の稼働率を高める、②物品の利用期間を延ばす、③物品の寿命を延ばすの3つの方法がある。



[経産省: CEコマースビジネス推進のためのガイド, 2025]

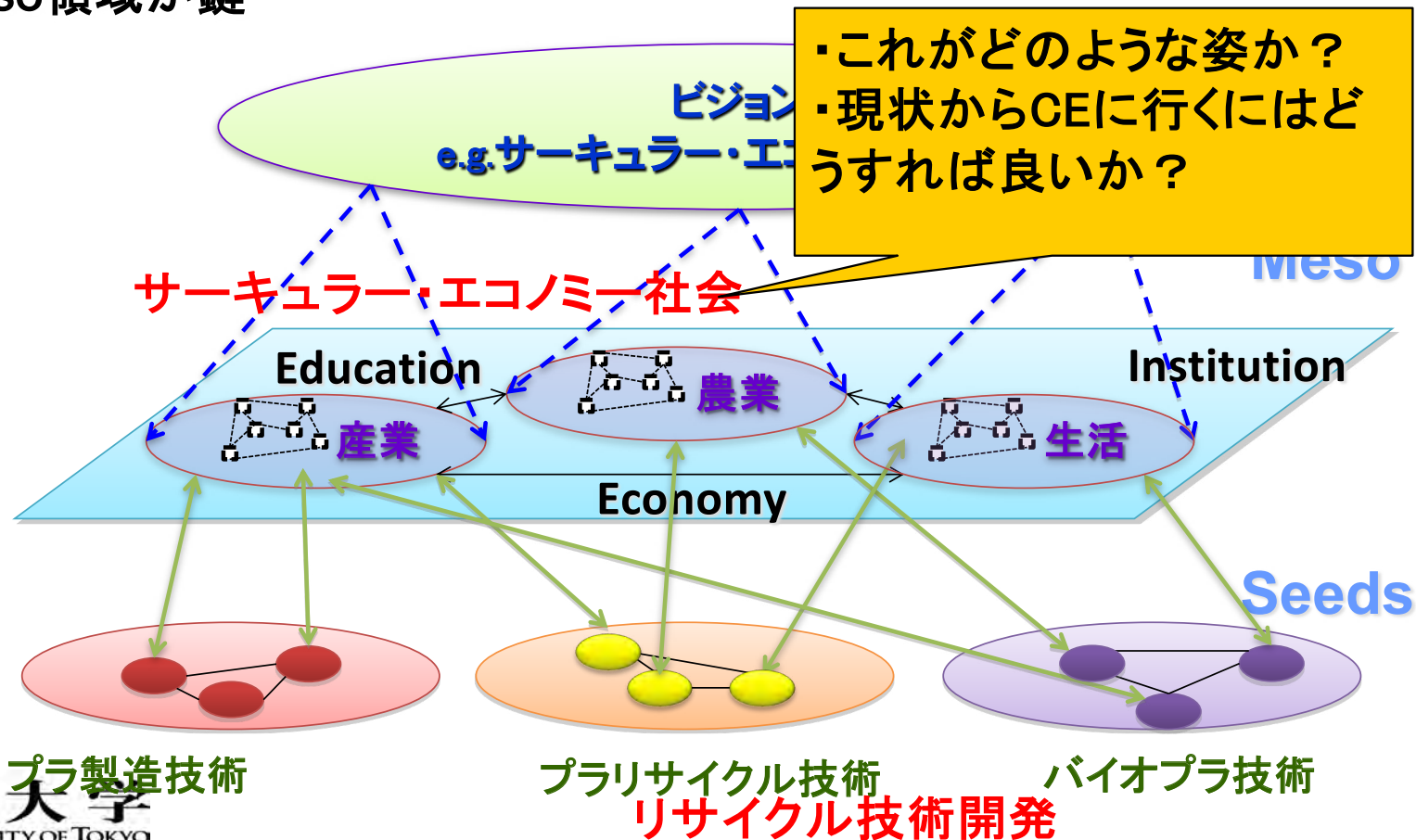
VMS (Vison-Meso-Seeds) モデル

- キラーテクノロジーによって、いきなり持続可能社会を実現するのは無理



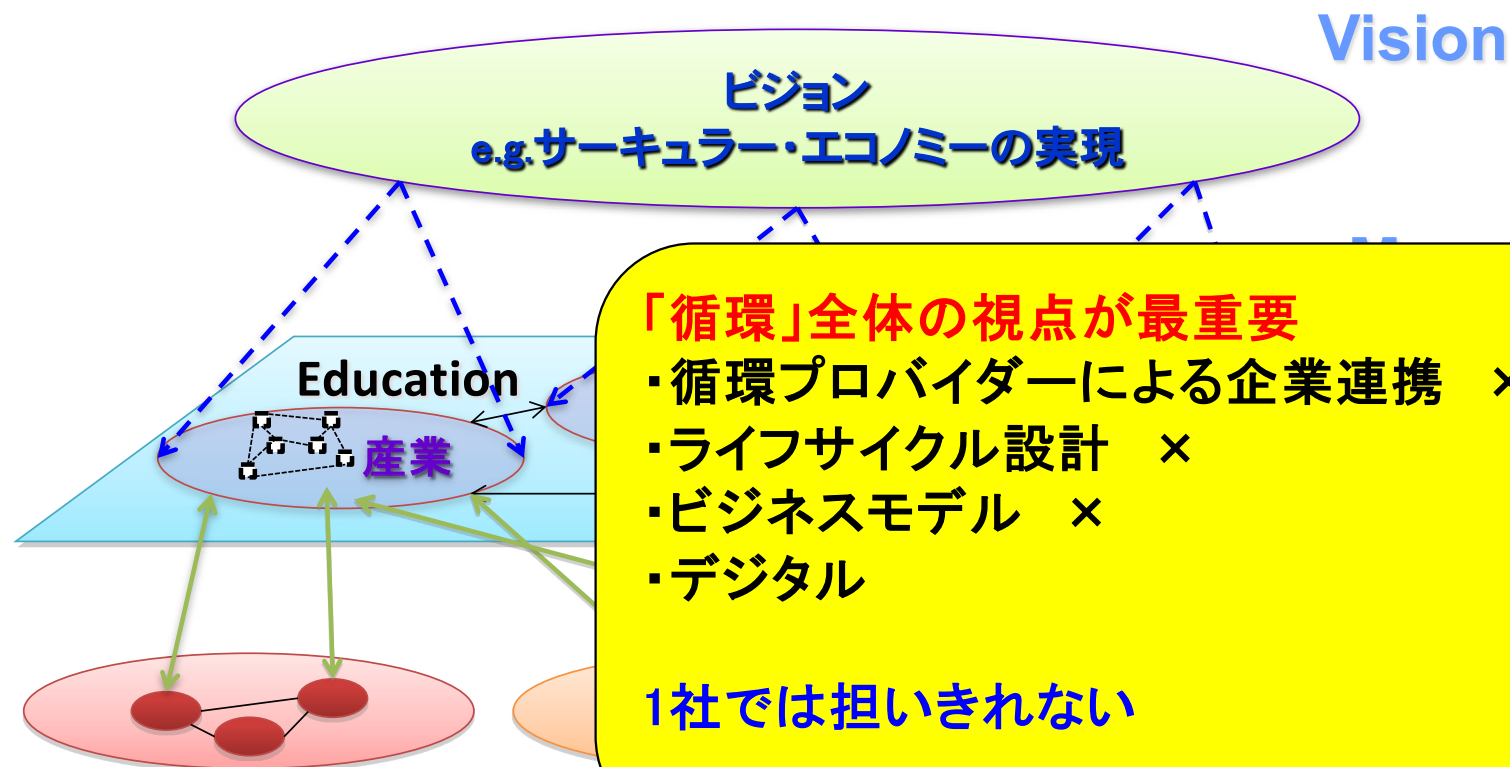
VMS (Vison-Meso-Seeds) モデル

- Meso領域が鍵



VMS (Vison-Meso-Seeds) モデル

- Meso領域が鍵



価値共創エコシステム

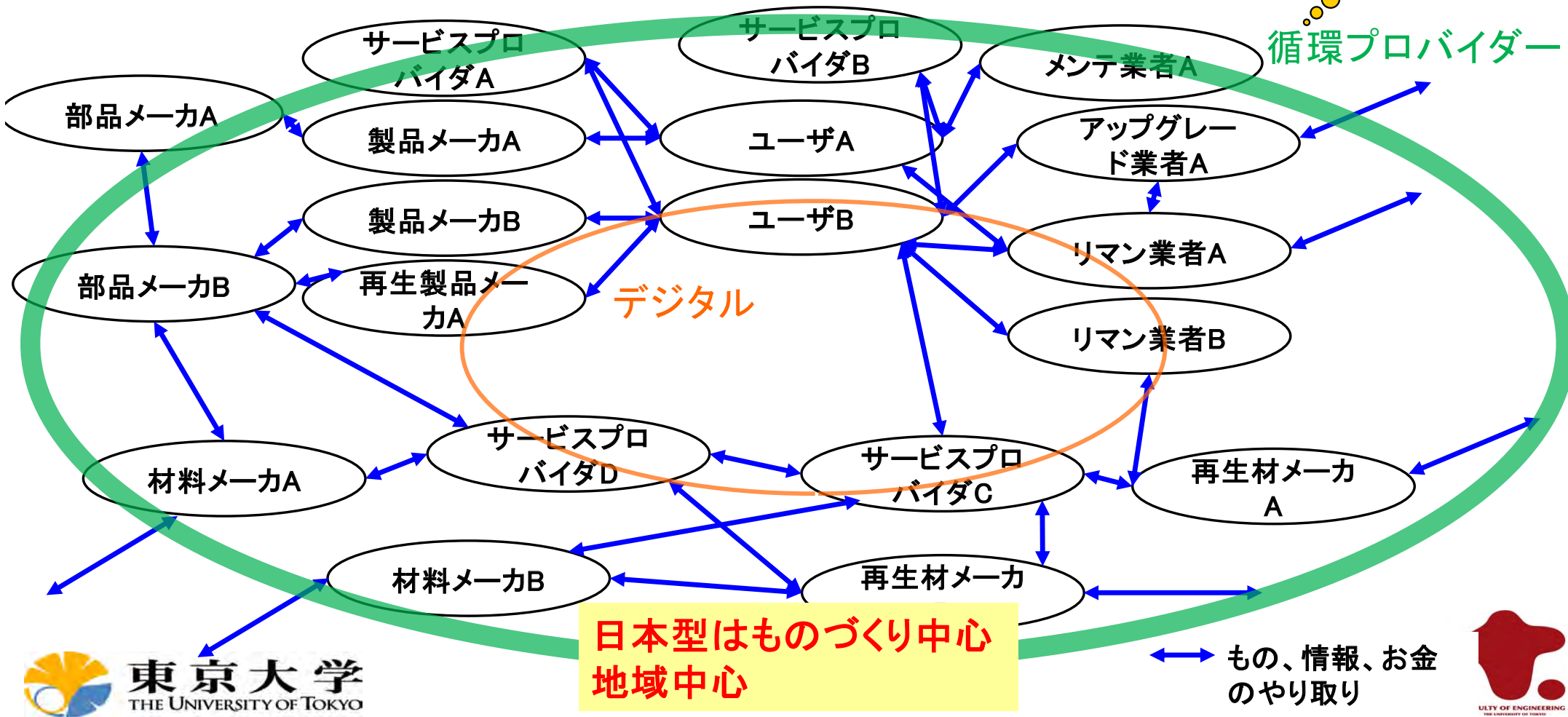
見える化、デザイン、運営
のオーケストレーション

循環プロバイダー

デジタル

日本型はものづくり中心
地域中心

もの、情報、お金
のやり取り



循環プロバイダー

- 循環を適切に構築しビジネスとして成立させることが重要
→大量生産・廃棄から脱却した価値づくりビジネス
 - もの、情報、お金が循環する仕組みを作る
 - だれがモノを作るかだけではなく、誰が回すかも重要ものを作る人と仕組みを作る人の役割分担が必要なのではないか？
- 「適切な」循環は、あらかじめ設計し、適切にマネジメントしないと実現できない
 - ライフサイクルの見える化、設計、分析、マネジメントの統合的实施
- 材料メーカーでも、最終製品メーカー単独でも、リサイクラー単独でも循環プロバイダーになれそうにない。適切なアライアンスが必要
 - 様々な専門家集団の巻き込み
 - 循環を企画し、ビジネス化し、運営のオーケストレーションをする

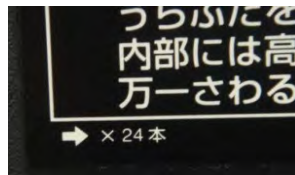
➡ これら2点を実行するのが「循環プロバイダー」

ライフサイクル設計とは？

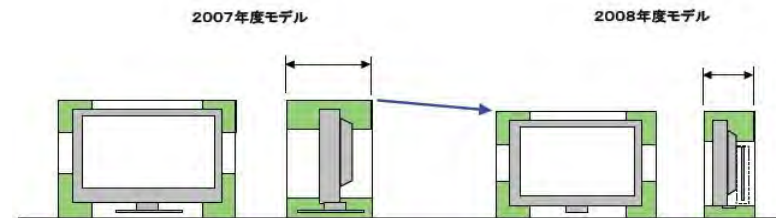
- 従来の設計：製品を作る
 - － コストパフォーマンスの良いモノをいかに効率よく作るか？
- 従来のエコデザイン
 - － 分解性、リサイクル性などを向上させるための製品設計の小改良
- リサイクル・廃棄物処理：「ゴミ」をいかに処理するか？
- ライフサイクル設計：製品のライフサイクルを作る
 - － いかに作らないで済ませるか
 - » 利益の確保（ビジネス戦略）
 - » 必要十分な機能／サービス
 - ➡ **ライフサイクル思考**



実践されている要素設計技術の例



手解体の容易化(ねじ本数を表示)



包装容積の減容化



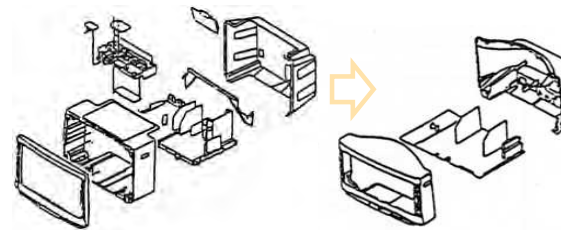
手解体の容易化(ねじ位置と種類を表示)



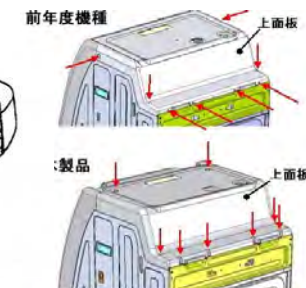
素材の統一



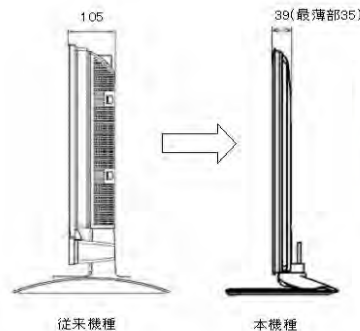
再生材の使用



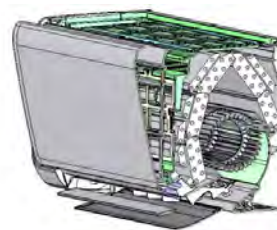
部品点数の削減



手解体の容易化



減量化・減容化
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



高効率化



有害物質の適正管理



消費電力の削減

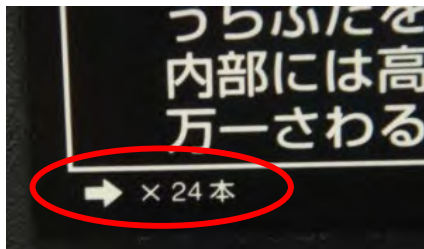


モジュール化

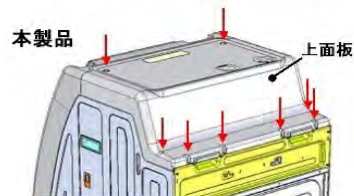
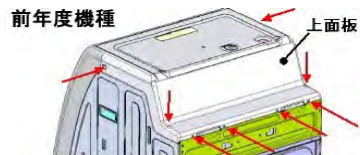
参考文献: (財)家電製品協会 製品アセスメント事例集

ライフサイクル設計がないと・・・

- 製品設計段階でリサイクル性設計を頑張る
- 高いリサイクル「可能率」
- しかし、リサイクル時にシュレッダーへ
- リサイクル「実効率」は大分違う

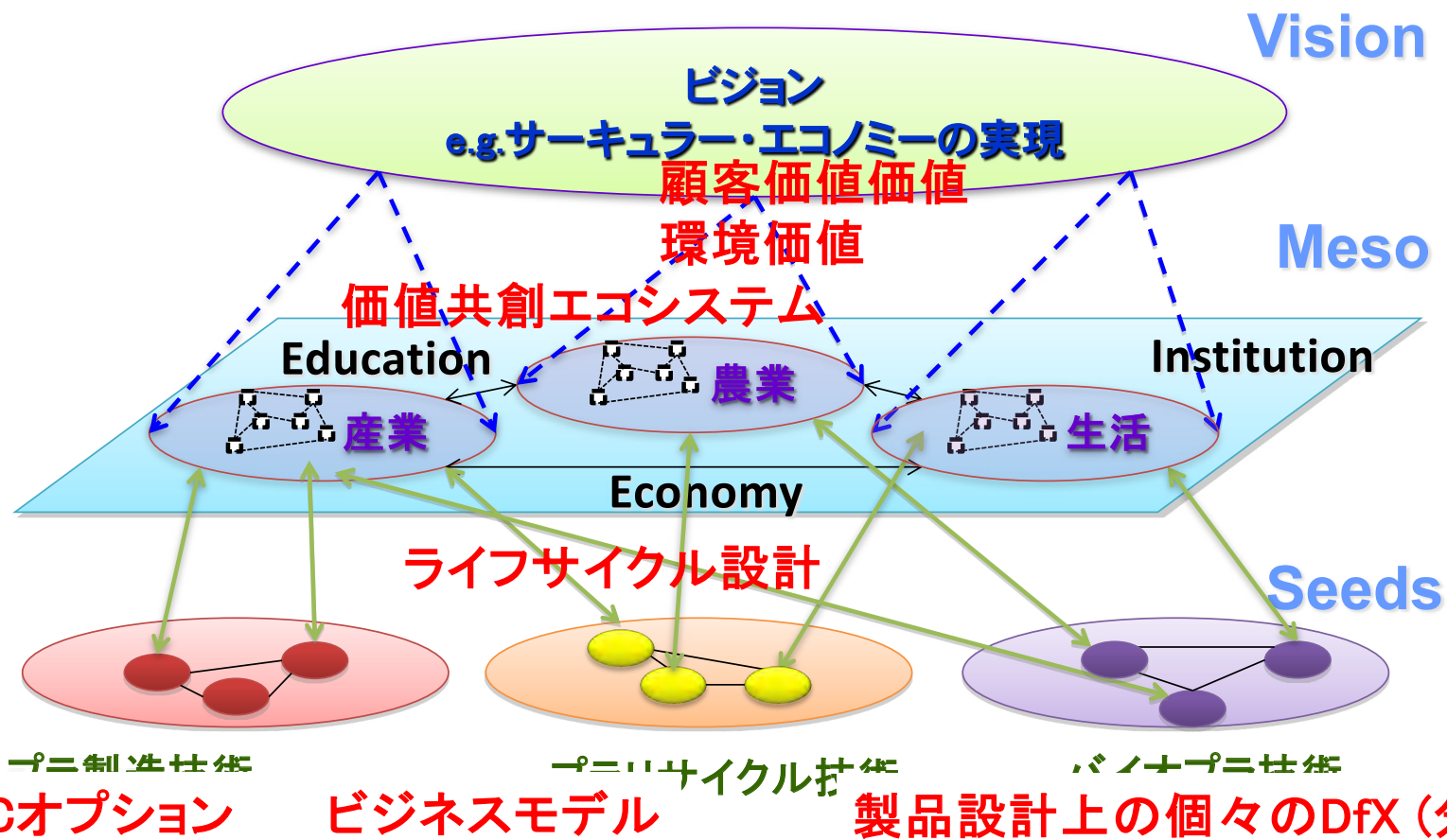


手解体の容易化



VMS (Vison-Meso-Seeds) モデル

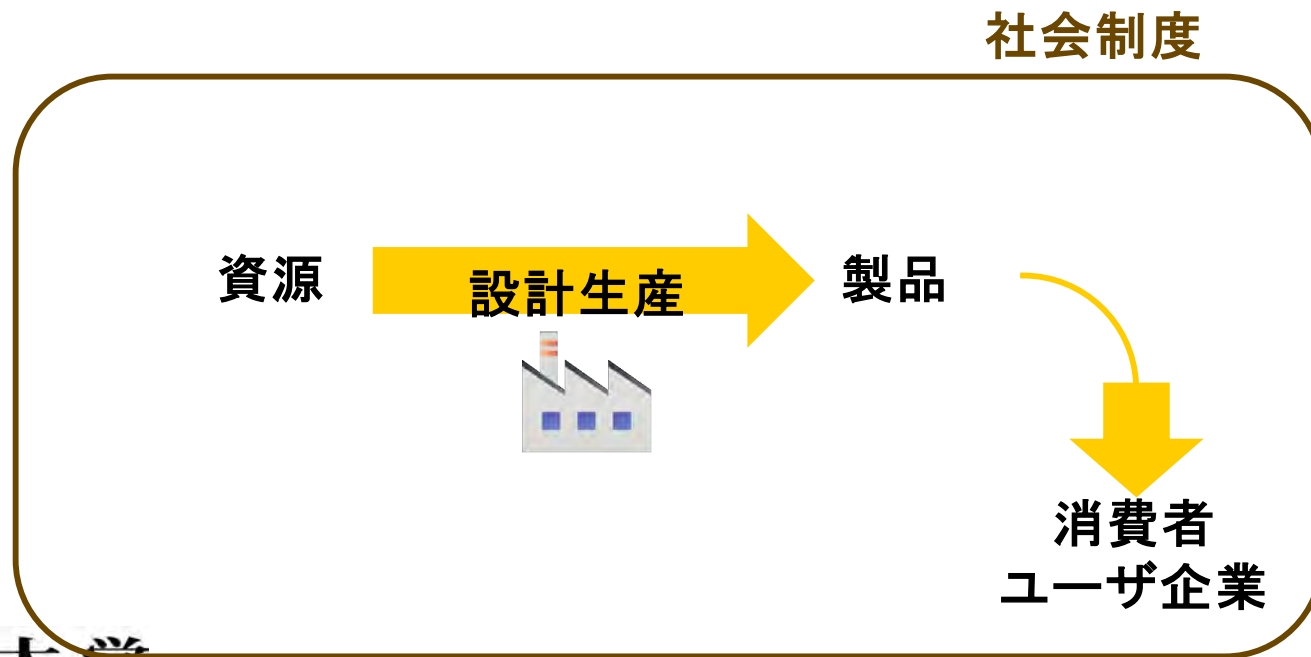
- Meso領域が鍵



CEが示唆する「ものづくり」の方向性

- 現状：生産設備がフル稼働することによるコストダウンを競争力とした量の経済
- CE：生産は最低限に留め、作った製品をその寿命が尽きるまで何度も使うという意味で製品をフル稼働させる社会
 - － CEコマース
 - － 価値の源泉が非物質的なものに移行している[諸富]なかで、価値の向上の実現が必要
 - － 同時に：生産技術向上による品質向上、コストダウンは維持したい
- リソーシングは必要条件（市場に参加する条件）
- 価値共創エコシステム
 - － 1社単独でなく、企業が連携してチーム戦で臨む日本の得意技？
 - － 課題：村社会に陥らないように
- アジアとの連携
 - － アジアwideでものづくりをやっている日本の製造業で、国内でやれることには限りがある

現状のものづくり



製造業の持続性も考慮しつつ

循環経済におけるものづくり

循環経済におけるものづくり実現の学術的基盤：生産科学



各講演の位置づけ

梅田：全体像

佐田・宮崎：企業の持続性を維持しつつどう実装するか？

CE
システムの
実装

CE
システムの
デザイン



諸富：制度と
産業構造

諸富：非物質
主義的転回

西尾：消費者
との関わり

パネルディスカッション

「持続可能な社会の中の製造業のありたき姿」

梅田：全体像

佐田・宮崎：企業の持続性を維持しつつどう実装するか？

CE
システムの
実装

CE
システムの
デザイン



諸富：制度と
産業構造

西尾：消費者
との関わり