

建設分野における  
技術開発の「やりよう」に関する  
一考察

東京都市大学  
野城智也

# お話すること

1. Digitalization が進行する状況での分野横断について
  - 1-1 Physical  $\Leftrightarrow$  Cyber-physical
  - 1-2 従来の産業区分を超えて、建設 $\Leftrightarrow$ 他産業へ
  - 1-3 個別分散協調のためのInteroperability
2. 建設における技術開発の多くはプロジェクトを契機におきる

# 用語の確認

- Digitization:
  - データのデジタル化
- Digitalization:
  - デジタルデータを活用した技術革新
- Digital transformation=DX :
  - 新しい結びつき、組み合わせの創出  
= イノベーションの創出

# 1. Digitalization が進行する状況での 分野横断について

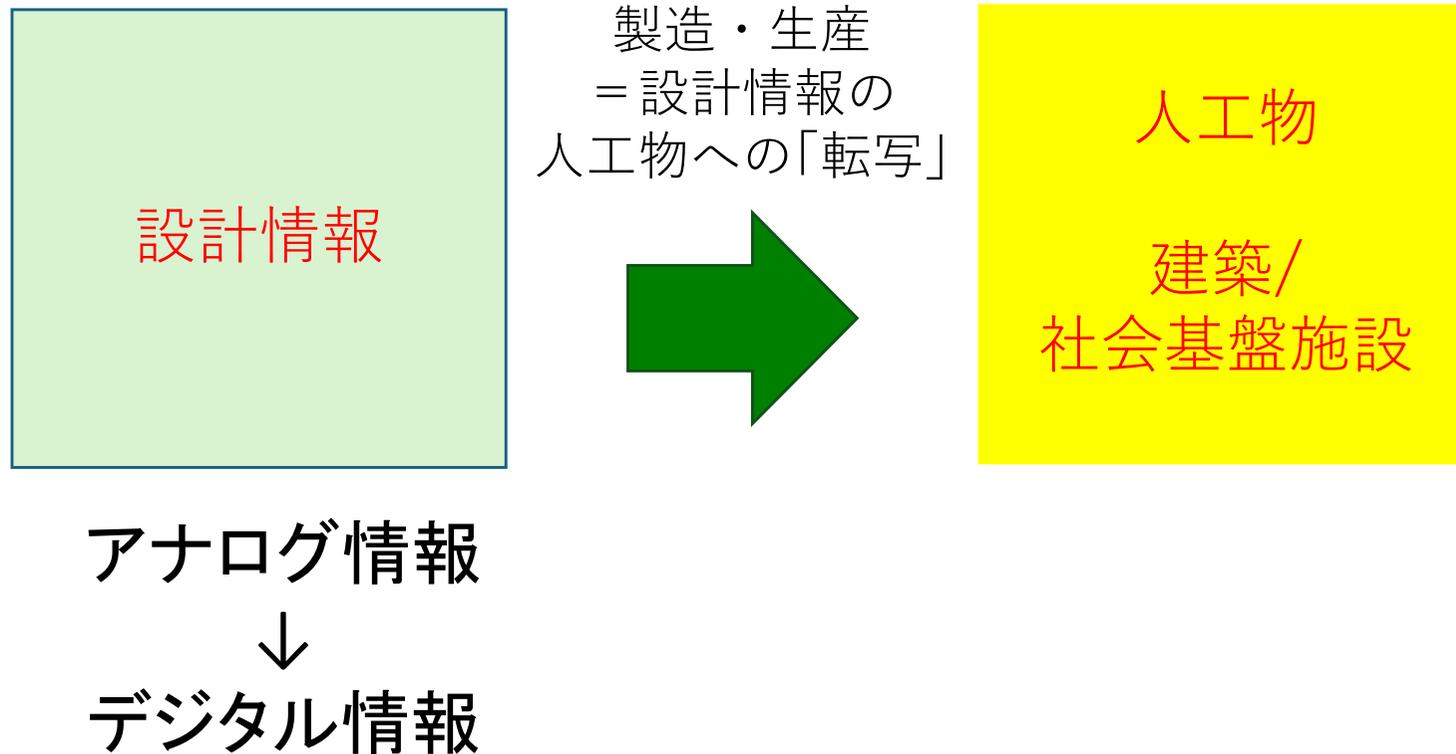
# 1. Digitalization が進行する状況での 分野横断

1. Physical  $\Leftrightarrow$  Cyber-physical
2. 従来の産業区分を超えて、建設 $\Leftrightarrow$ 他産業へ
3. 個別分散協調のためのInteroperability

1-1 Physical  $\Leftrightarrow$  Cyber-physical

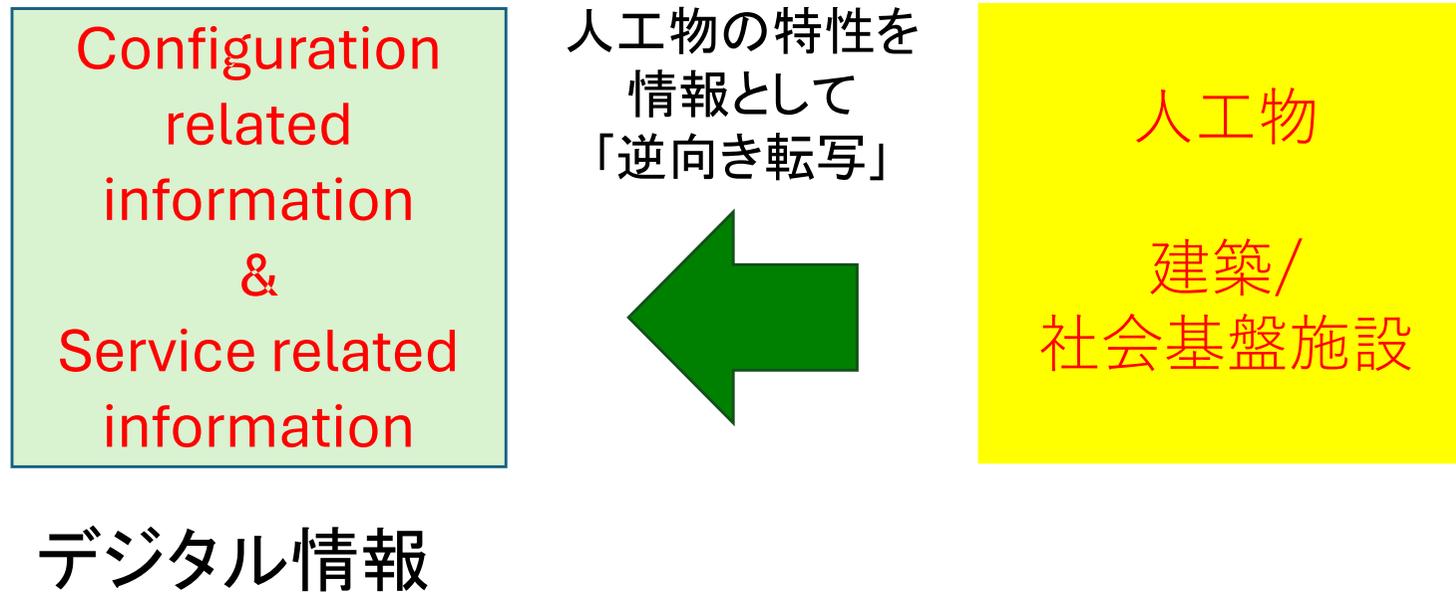
# いままでの建設技術の範囲

良い人工物をつくるために 良い設計情報を作る



# ストック社会化/Digitalizationが進行する状況での 新たな建設技術の領域

人工物の運用特性情報を抽出する



# 例えば、保全のマネジメント

(出典:北海道新聞記事

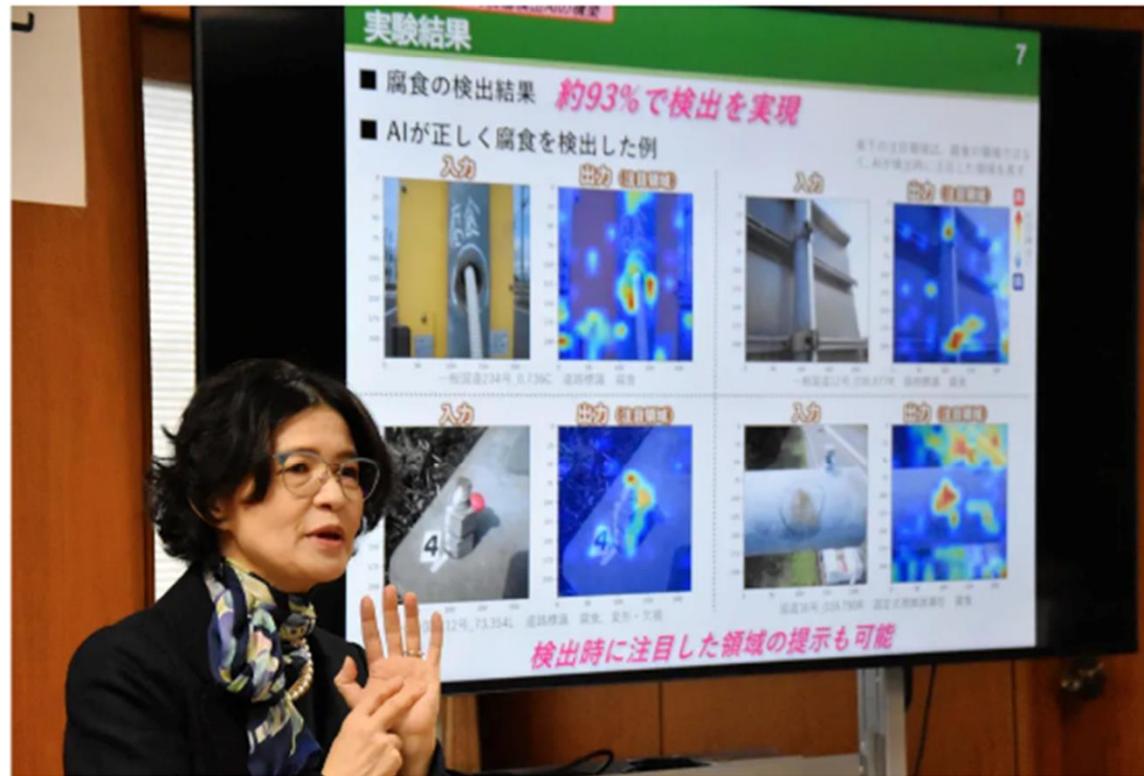
<https://www.hokkaido-np.co.jp/article/1005893/>)

## AIで道路標識の腐食発見 開発局と北海道大、共同研究の中間報告

佐藤諒一 会員限定記事

2024年4月27日 0:07(4月27日 13:43更新)

あとで読む



AIを活用した道路標識の腐食診断の精度の高さなどについて説明する長谷山美紀副学長

# X A I (Explainable AI) による道路附属物点検の高度化

～ 北大との連携協定に基づくインフラ管理のイノベーション  
「NORTH-AI/Eye」の推進 ～

北海道開発局は、インフラ管理の効率化を目指すため、北海道大学大学院情報科学研究院と連携協定を締結（令和4年6月）し、AIによる道路附属物点検の効率化について共同・連携して進めてきました。

今般、これまでの研究成果等について、北海道大学 長谷山副学長、北海道開発局 柿崎局長から報道関係者へ発表しますので、お知らせします。

北海道開発局では約6,900 kmの道路を管理しており、ここには約24万基の道路附属物（固定式視線誘導柱（矢羽根）、標識、照明等）が設置されています。

これらの施設は5年毎に点検を行うことから、膨大な労力と時間を要していることに加え、昨今の労働力不足といった社会的な背景も相まって道路附属物点検の高度化・効率化は喫緊の課題となっています。

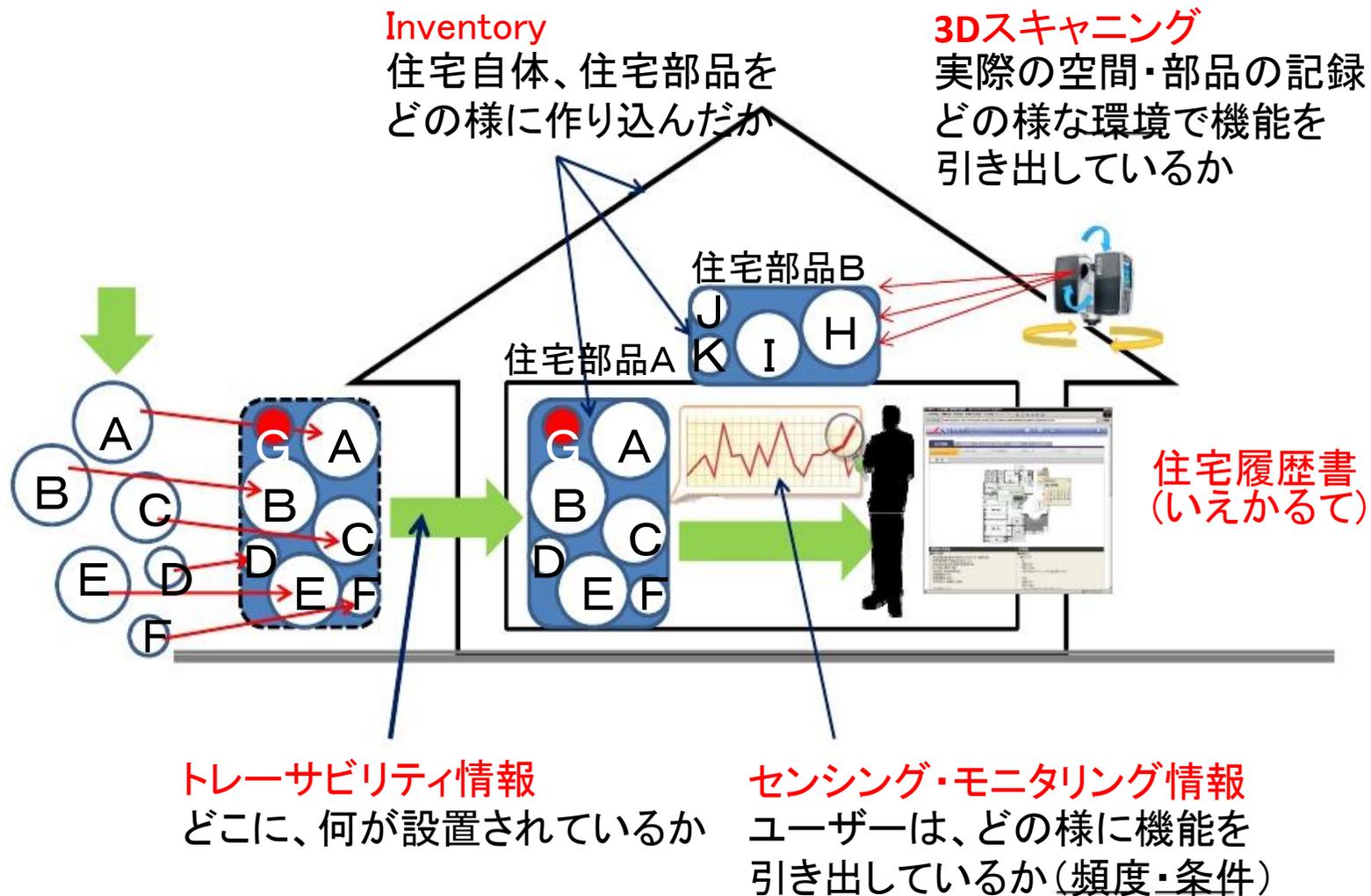
- Digitalization は、距離制約を克服する
- しかし、そのためには新たな能力構築を必要とする
- やりながら学ぶことの大事さ

<https://drive.google.com/file/d/1byEt9AMOTceY4cSYCEuYXbNHBLQ0INRM/view>

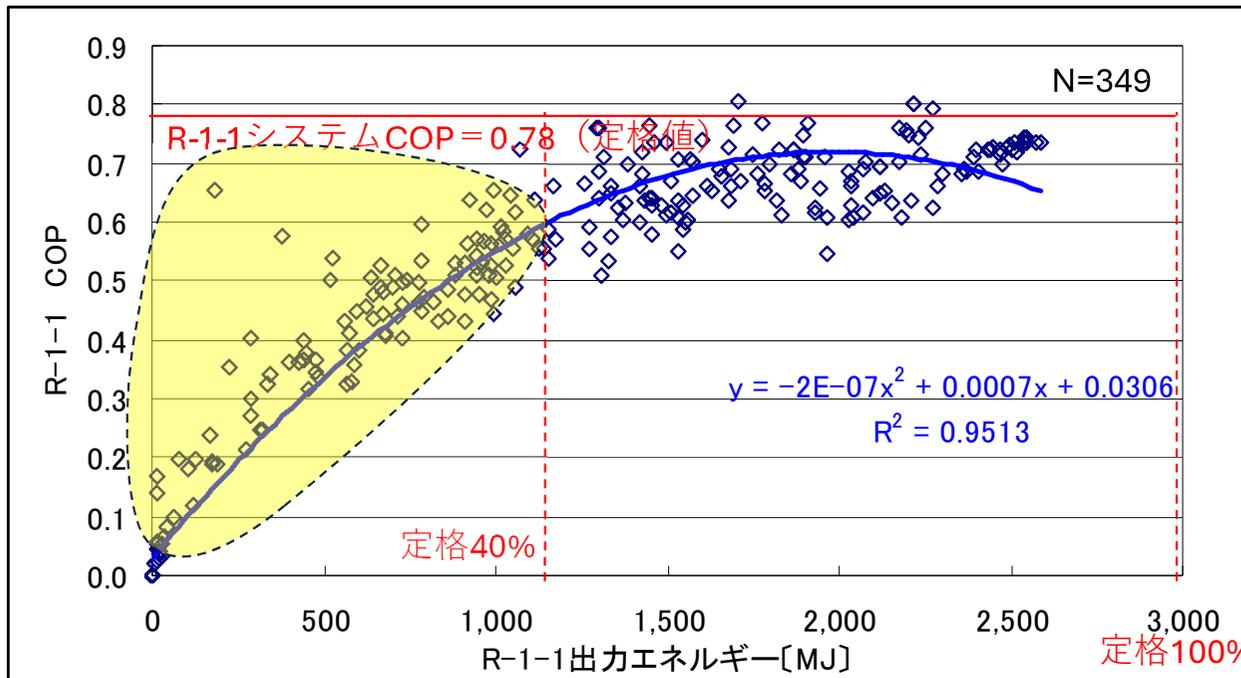
# 「逆転写」技術例

住宅の得体を明らかにするための技術的シーズ

出典 信太洋行 東京都市大学准教授講演資料 第2回 「住宅部品点検の日」シンポジウム2013  
年10月10日安全安心の暮らしを支える住宅部品リスク・コミュニケーション

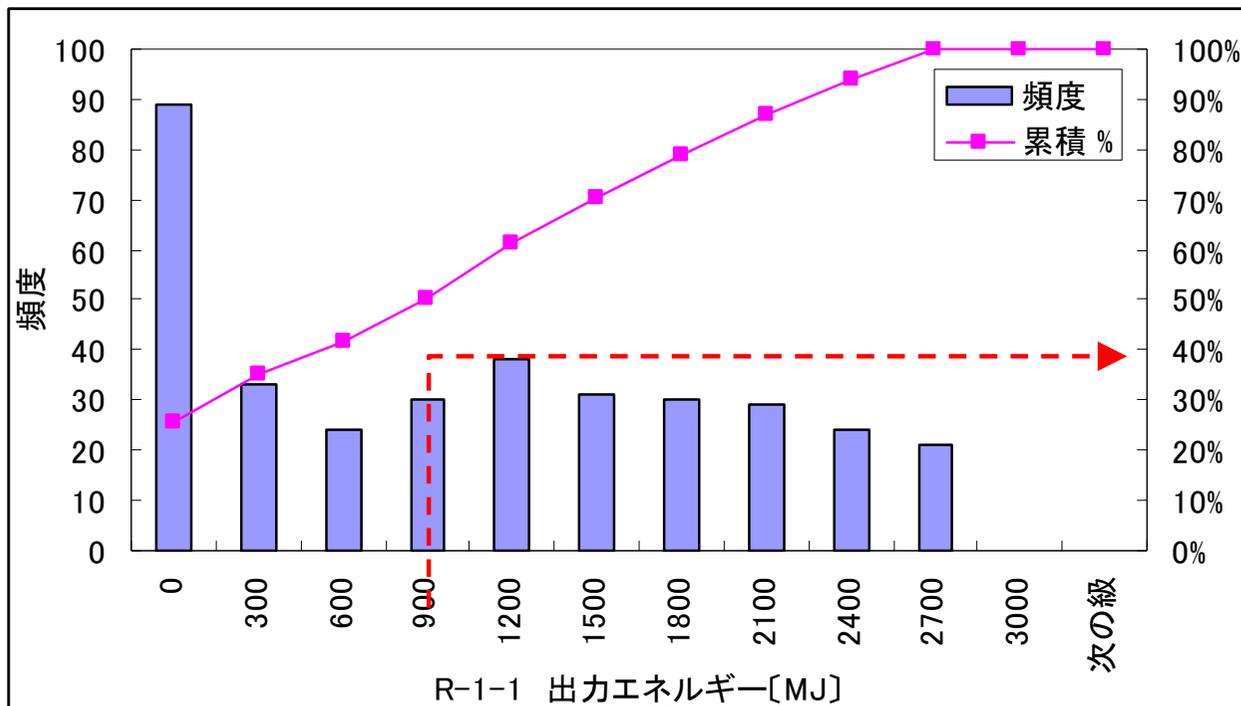


# 逆転写に基づいた分析例：横浜市磯子区総合庁舎 熱源分析事例



冷房需要が大きい時にはCOP（効率）の高い運転ができていますが、能力の40%以下で運転すると効率が悪くなっています。

出典：馬郡文平，野城智也，迫博司，藤井逸人：省エネルギーCO2削減のための建築性能モニタリングによる見える化，情報システム技術部門研究協議会資料，日本建築学会大会(北陸)，37/53 (2010)

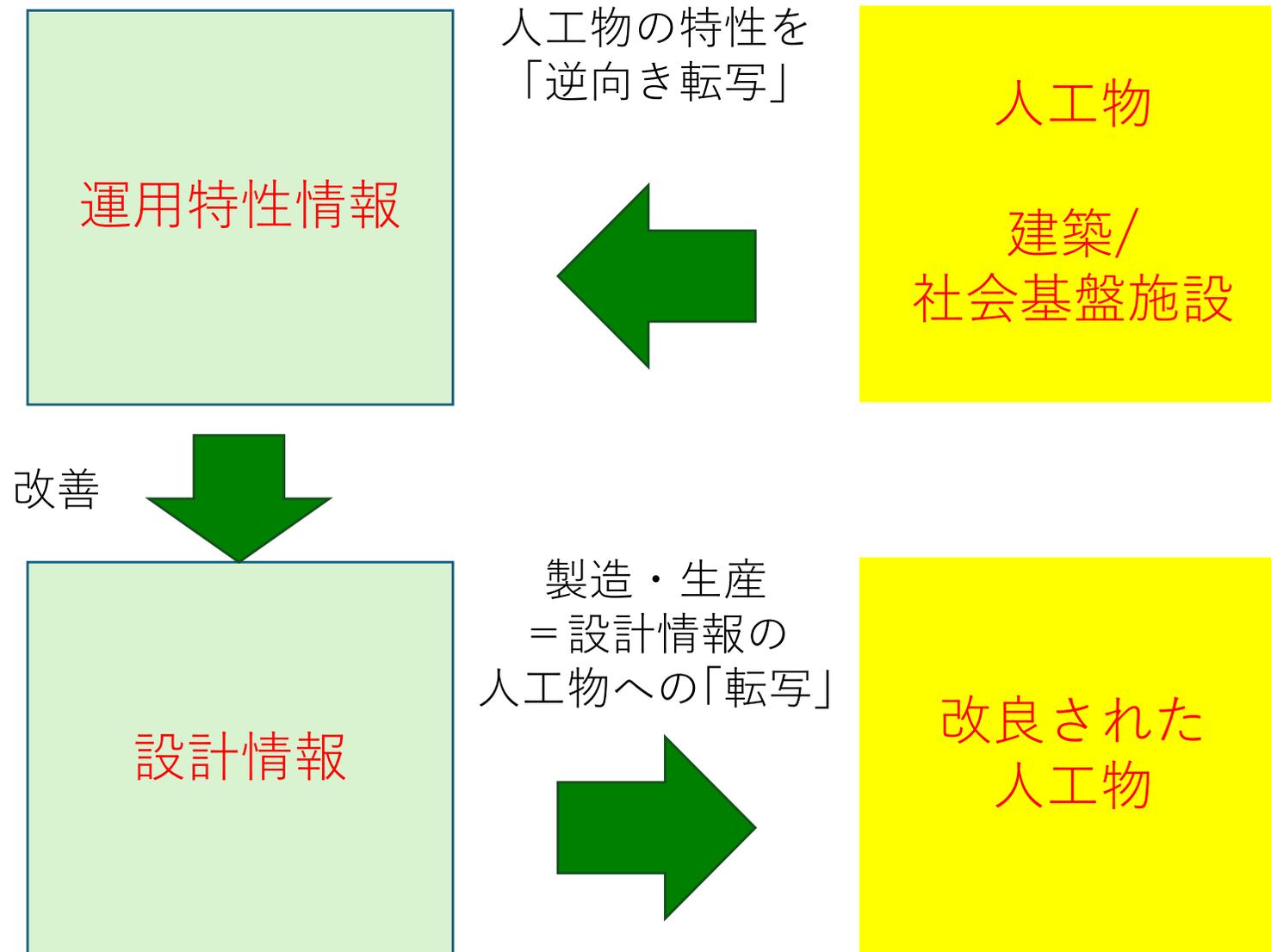


能力の40%以下で運転している時間数は、冷房運転時間の約50%にもなります。

設計時26℃を想定していた室内温度がクールビズの28℃で運用されているため、現在の熱源では大きすぎる状況です。

設計時の想定と、現状とのズレによってムダが発生します。

# Cyber-Physical System for Sustainable built environment



Cyber-physical 化を進めるうえでの課題  
暗黙知を如何に伝え、共有するか？

# 暗黙知 (tacit knowledge)

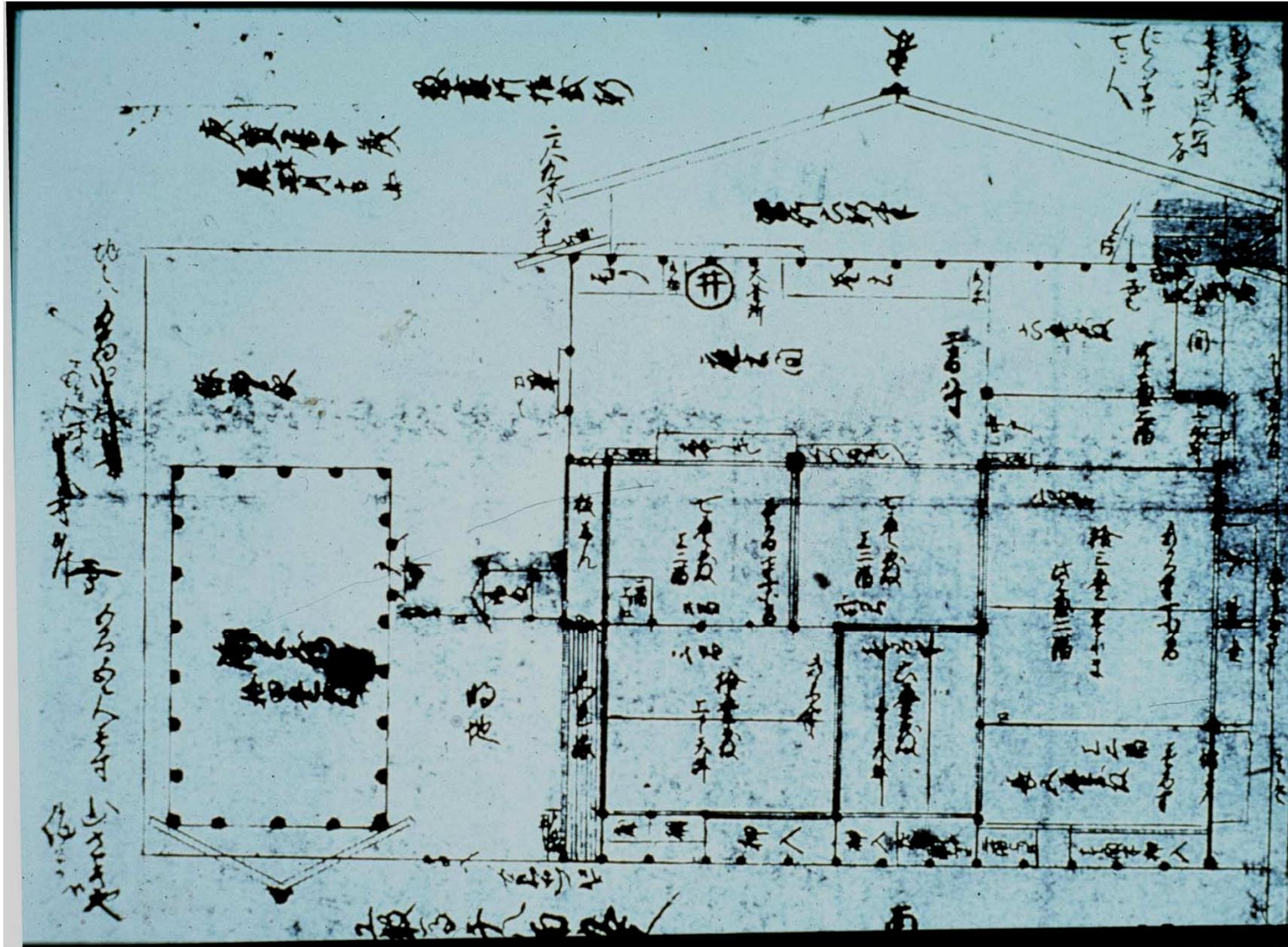
日本の襖はなぜスムーズに開け閉めできるのか

- 自分の仕事に関する暗黙知
- 他の職種との絡み方（チームプレー）に関する暗黙知

<https://naisouzairyou-annai.jp/fusuma/knowledge/history.html>

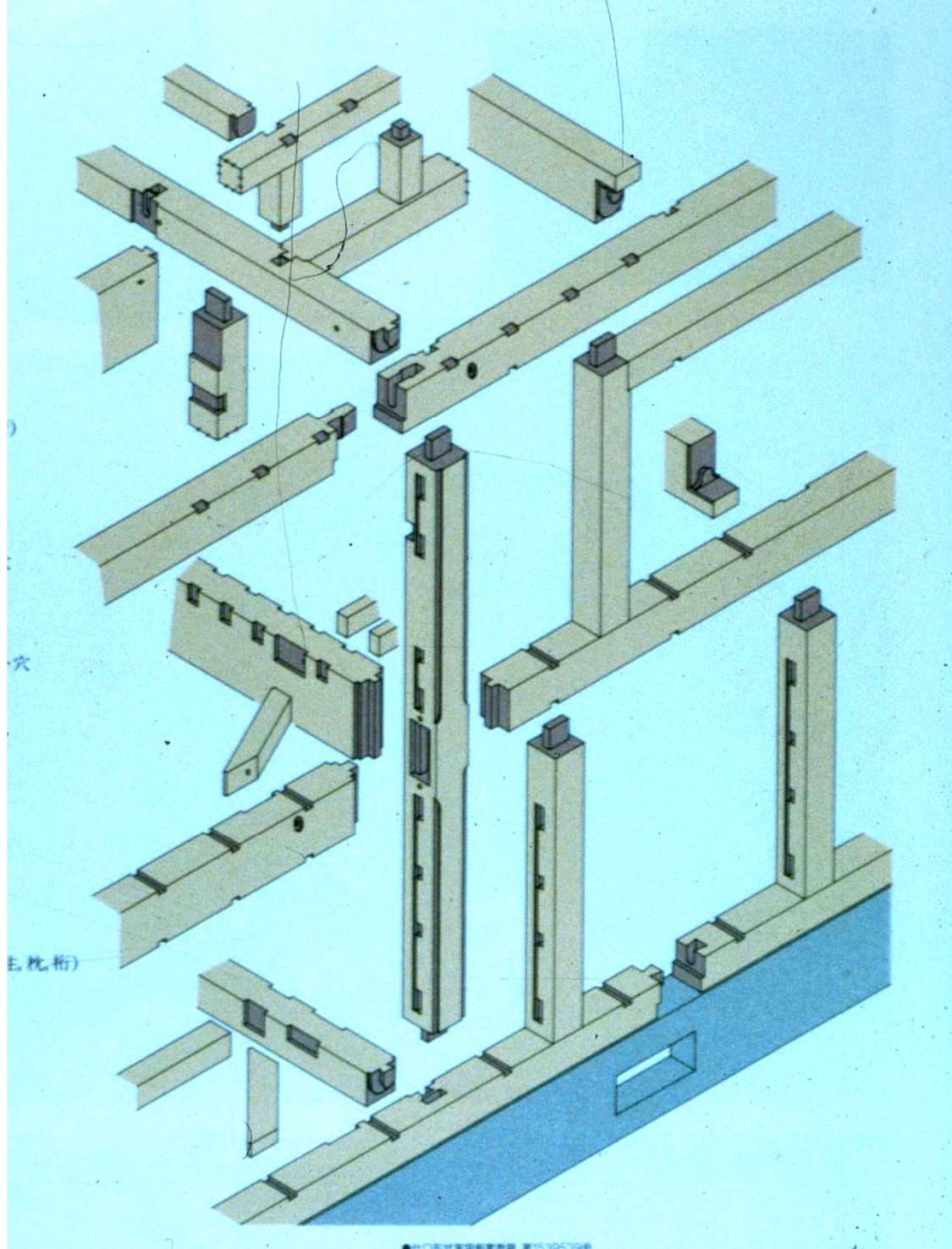


# 必ずしも全ての情報を明示する必要はなかった 板図



大工職の  
頭の中に  
あった暗黙の  
技術コード

在来木造住宅構  
法における継手  
仕口



# Robust technology /Fragile technology 手堅い技術(Robust Technology)

長年にわたり使われつつ検証されてきた結果、安定的で信頼するに足る技術的定石であると理解されている技術  
換言するならば、手堅い技術とは、

1. 一般の技術者に経験を通じてよく理解されていて（＝**暗黙知が共有されていて**）、
2. たとえ何らかの伝達ミスや作業ミスなど多少の過誤があったとしても、何らかの補完機能がはたらい、重大な瑕疵に発展しない堅固な性格（robustness）をもった技術

## 取扱注意技術（fragile technology）

Robust technology の反対概念。少数の技術者のみが理解をしていて、信頼するに足る技術的定石としては定着しておらず、何らかの過誤が容認できない瑕疵に発展しうる可能性をもった技術

# Mechanical Grazing / Dot Point Grazing の事例 London Stanstead Airport



Fragile technology であるという  
認識を欠いていたのではないか  
ガラス外装落下：設計者への質問状

- A 地震動に対する技術的対策
- B 風圧力に対する技術的対策
- C 熱伸縮に対する技術的対策
- D 異種材料使用に対する技術的対策
- E ガラスの表面温度想定
- F 使用シートの接着力
- G 使用したガラスの品質チェック
- H フェールセーフ設計の内容

## ガラス外装落下：設計者への質問状

以下の事項について、どのような内容の検討をして、どのような技術的対策を施したのか具体的にご説明いただきたい。

### A 地震動に対する技術的対策

- 1.設計時に、どのような大きさ・様態の地震動を想定しましたか？
- 2.建物にその地震動が加わった場合に、建物本体がどのように変形・変位し、どのような影響が、ガラスパネル支持部に及ぶと予想しましたか？変形・変位量・方向も含め具体的にご説明下さい。
- 3.その影響が安全上の問題を生じないようにするため、どのような技術的対策を、ガラスパネル支持部、ガラスパネル及びその他の建物部位に施しましたか？

# Constructability にかかわる技術は 暗黙知のかたまり

- 前回の須崎純一先生のご発表でご指摘になった課題は、設計者はConstructability に関する知識を必ずしも十全には保有していないことに起因すると理解（餅は餅屋）
- 一方、建設会社は従来のLearning by doing による暗黙知の技術伝承に限界を認識



清水建設、NOVARE Academy ものづくり至誠塾

<https://www.shimz.co.jp/novare/academy/index.html>

1-2従来の産業区分を超えて、  
建設⇔他産業へ

近い将来に求められること

いえの中で

人と  
移動体（ロボット）と  
扉・ドアなど各機器（住宅設備機器）が  
ぶつからずに、協調して作動する

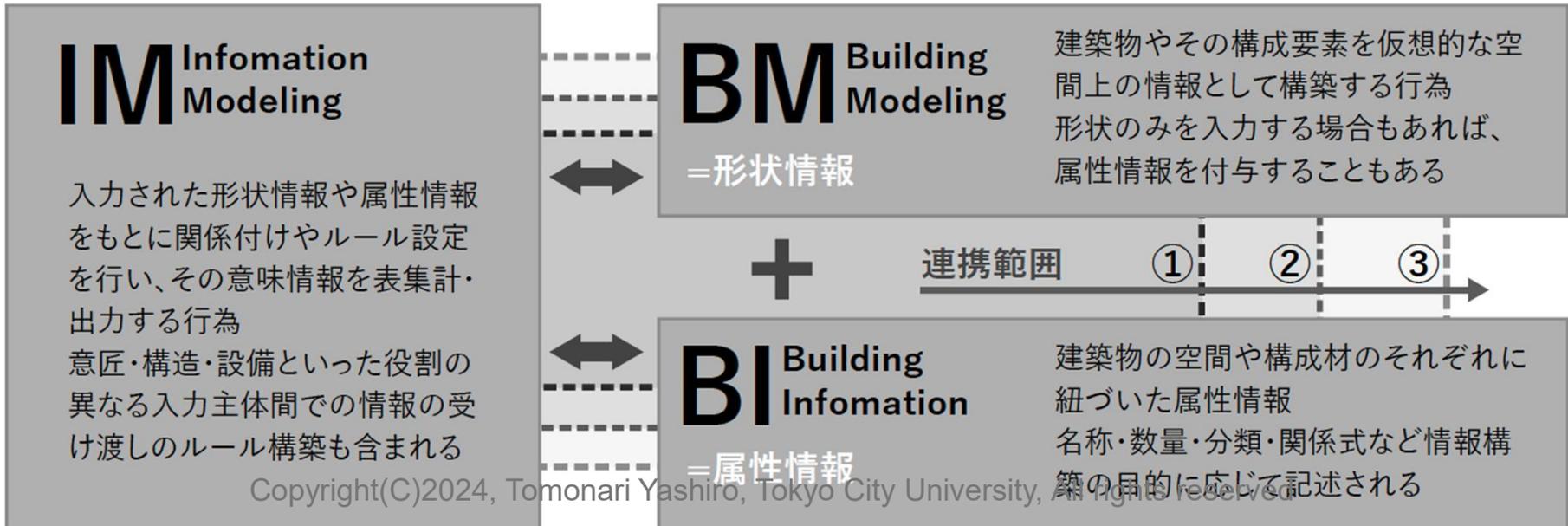
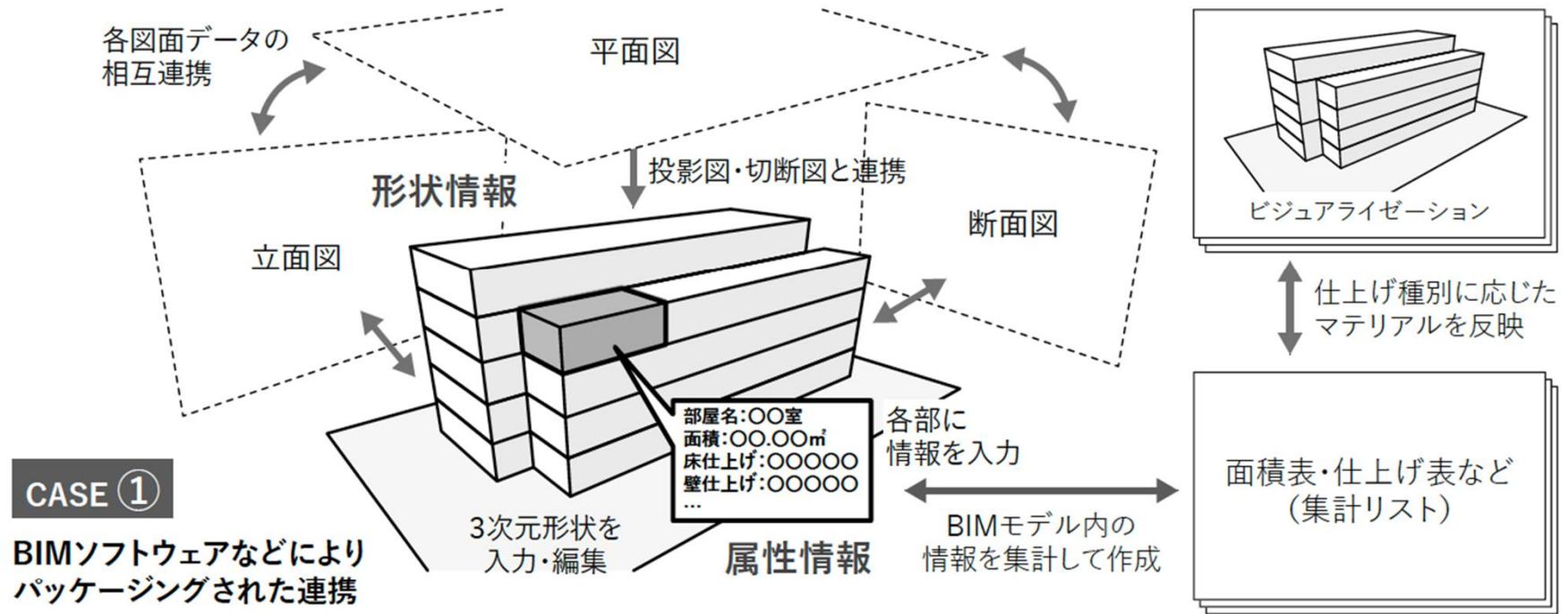


従来のDomain（範囲）を超えた  
Interoperability（相互運用可能性）

# BIM データ上で扱われる形状情報と属性情報

出典 村井一学位論文

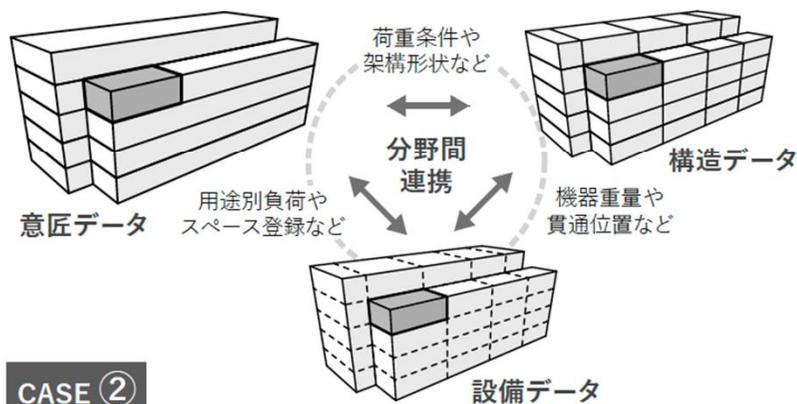
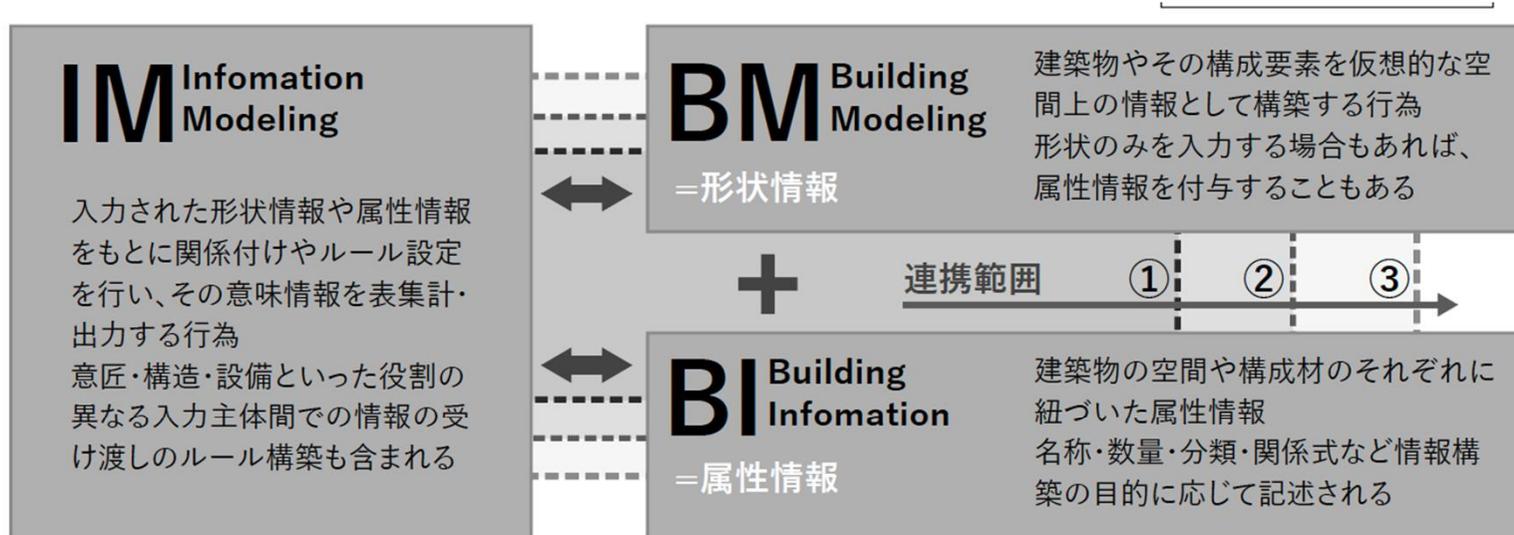
BIM データを基盤とした建築情報の階層的管理に関する研究



# BIM データ上で扱われる形状情報と属性情報

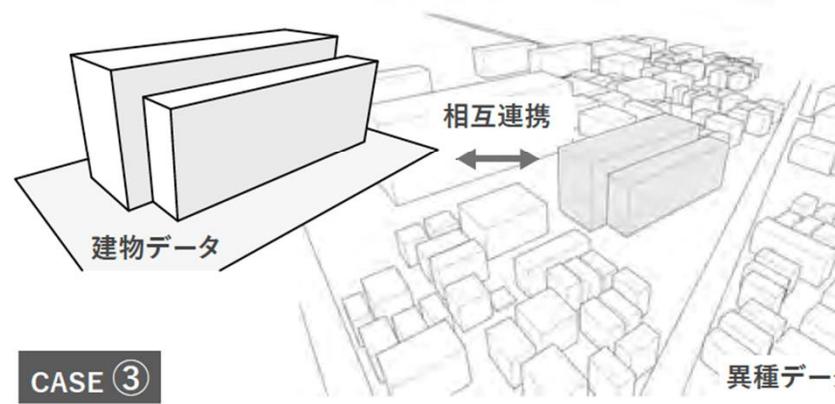
出典 村井一学位論文

BIM データを基盤とした建築情報の階層的管理に関する研究



CASE ②

意匠・構造・設備の設計・解析のための分野間連携



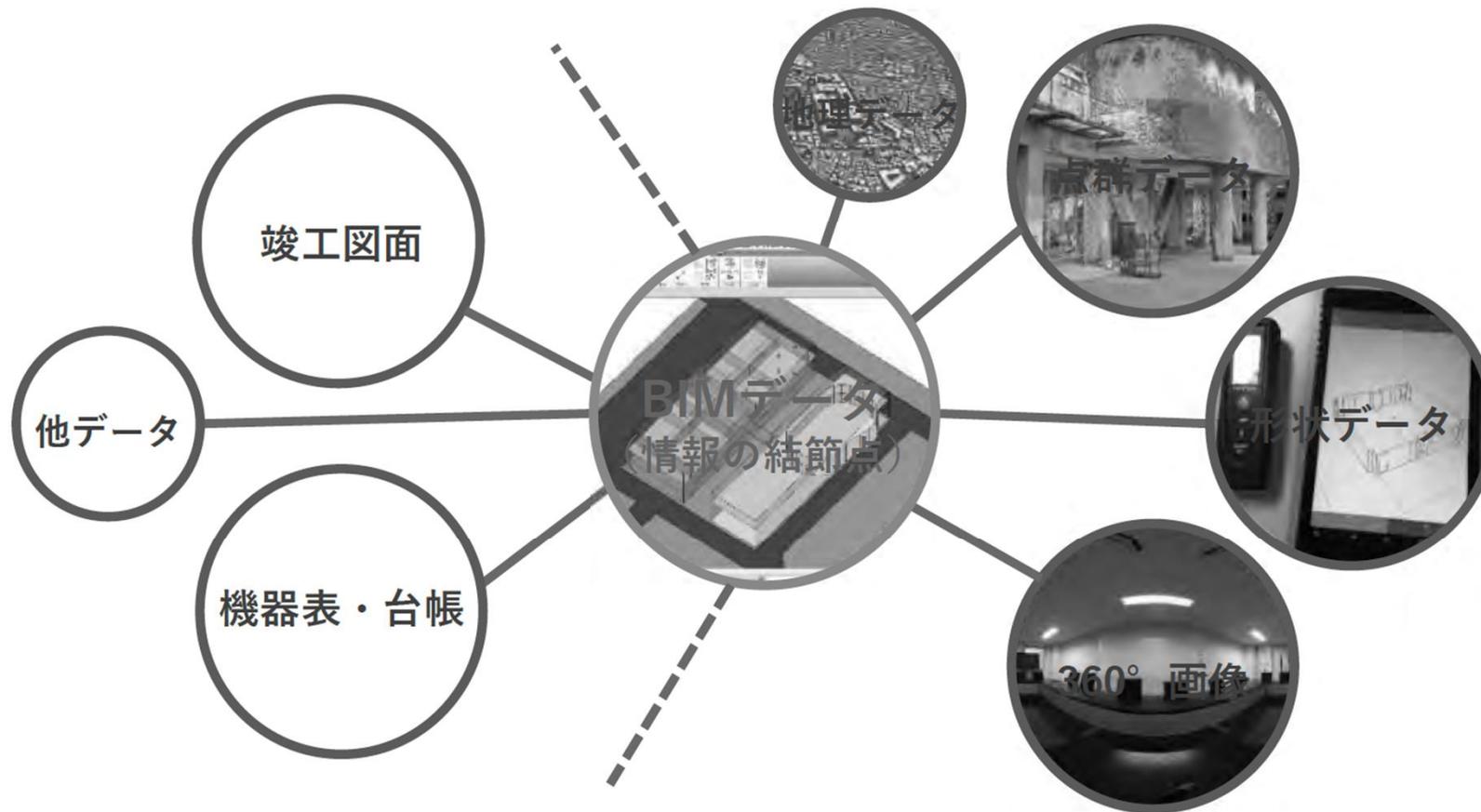
CASE ③

複数の建物群や地理空間情報など異種情報との相互連携

# BIM データを基盤とした建築情報と異種情報との連携

出典 村井一学位論文

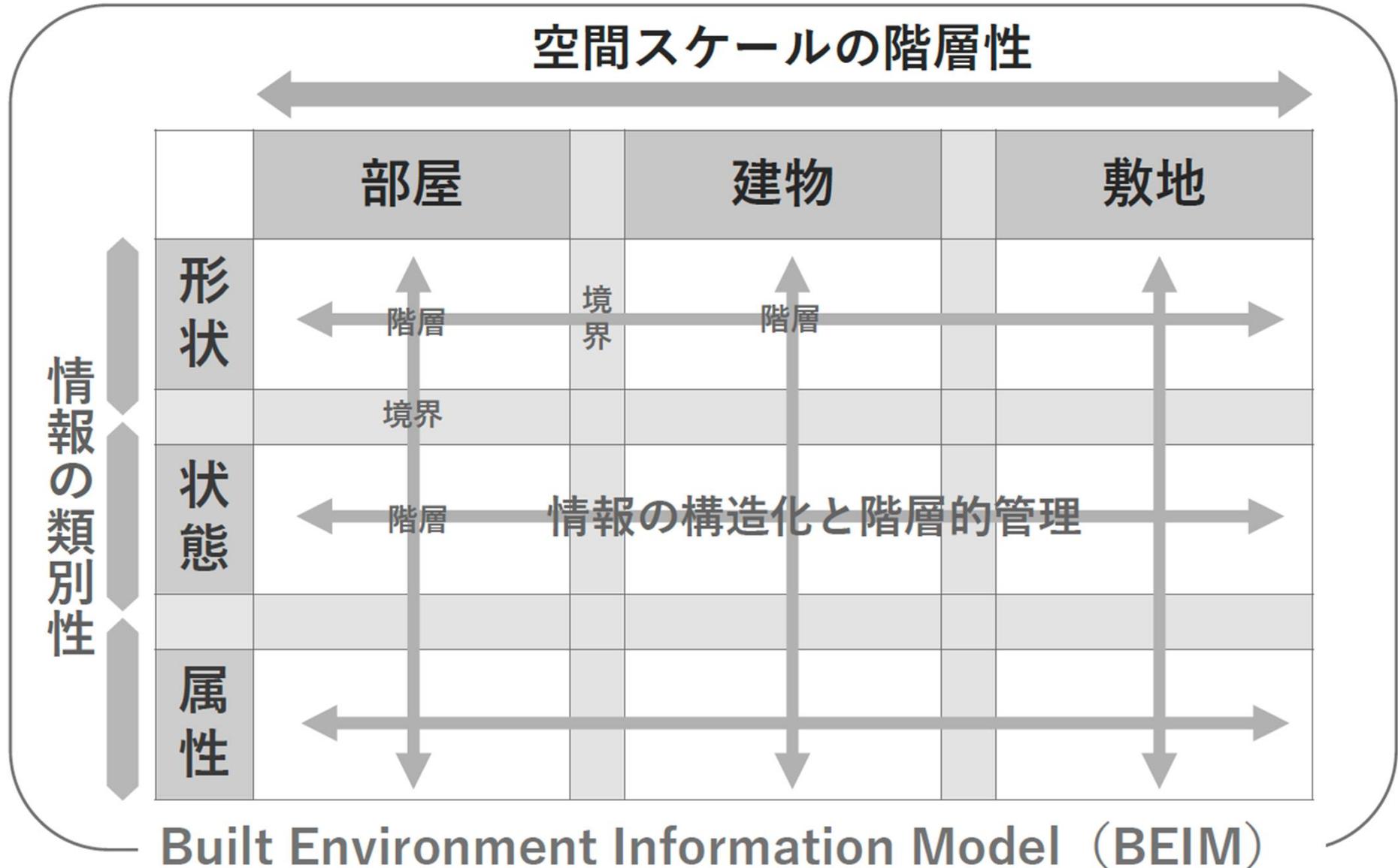
BIM データを基盤とした建築情報の階層的管理に関する研究



# BIM による建築情報の構造化

出典 村井一学位論文

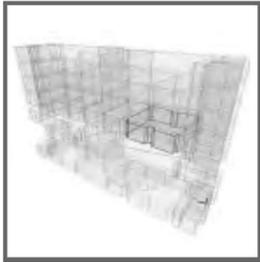
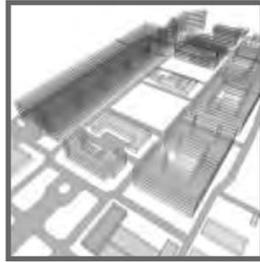
BIM データを基盤とした建築情報の階層的管理に関する研究



# 空間スケールの階層性と情報の類別性による柔軟な情報マネジメント

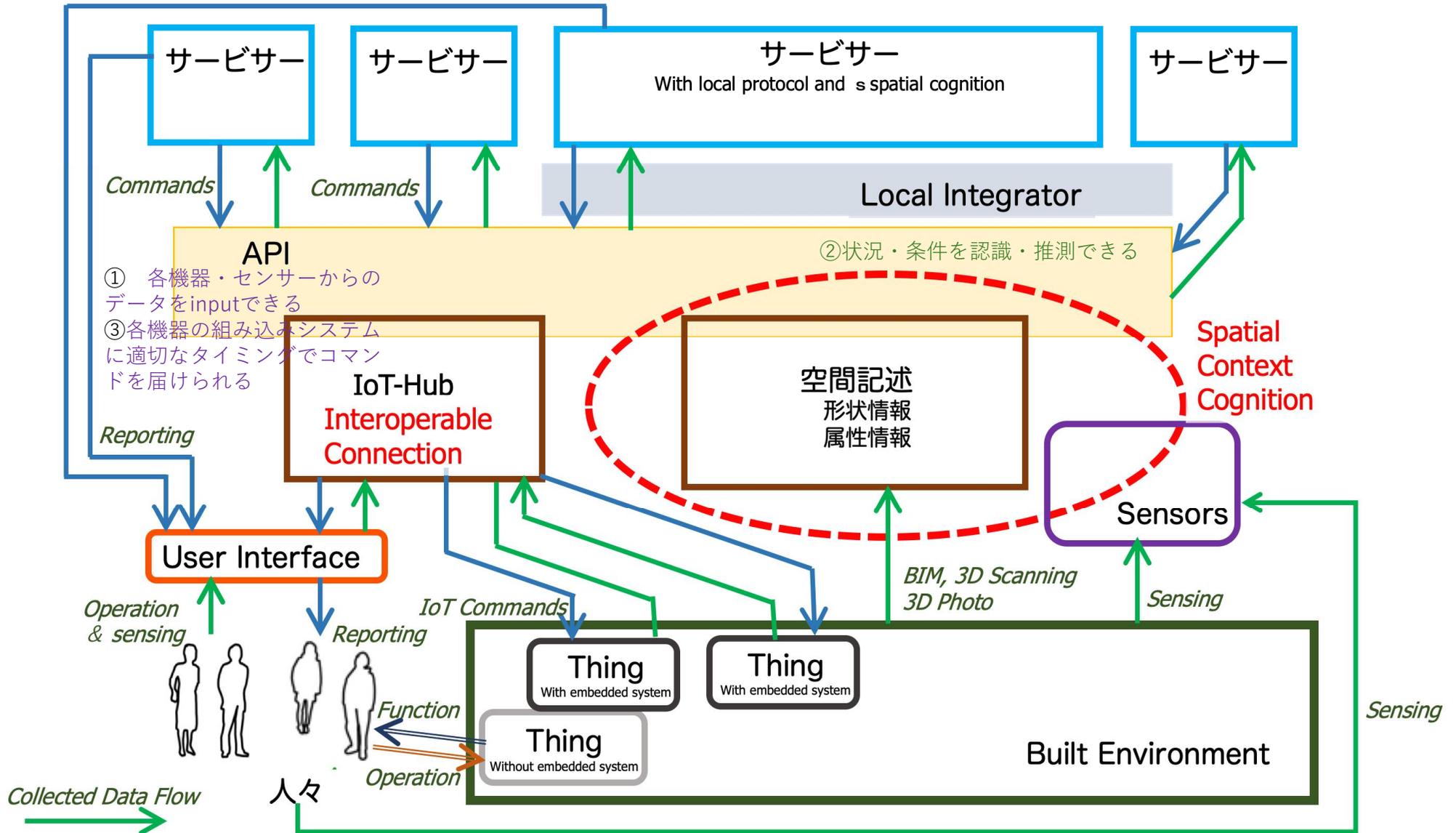
出典 村井一学位論文

## BIM データを基盤とした建築情報の階層的な管理に関する研究

		空間の構成単位		
		部屋	建物	敷地
情報の種別	形状 構成単位の幾何学的な形状や座標に関する情報	 <p>建物を構成する<b>諸室</b>や廊下・階段の形状（輪郭）情報。IFCのエンティティにおいては、<b>IfcSpace</b>に該当</p>	 <p>部屋情報の集合全体を指す個別の<b>建物全体</b>の形状（輪郭）情報。IFCのエンティティにおいては、<b>IfcBuilding</b>に該当</p>	 <p>建物が立地する<b>敷地</b>の形状（輪郭）情報。建物以外の外構も含む。IFCのエンティティにおいては、<b>IfcSite</b>に該当</p>
	状態 運用や保守、各種センシングなど空間の状態・履歴に関する情報	 <p>部屋別の<b>写真</b>・360度パノラマなど<b>画像記録</b>や点群、温湿度や振動などの<b>センシング情報</b>、入室記録、<b>維持管理</b>・<b>点検</b>情報など時間軸を伴う情報</p>	 <p>建物別の<b>画像記録</b>や<b>センシング情報</b>、入室記録、<b>維持管理</b>・<b>点検</b>情報など。部屋単位では記述が難しい外壁などの情報は建物単位で紐付ける</p>	 <p>敷地別の<b>航空写真</b>や<b>センシング情報</b>、都市計画基礎調査や悉皆調査による<b>分類</b>・<b>評価情報</b>。既存の地理空間情報との相互運用が期待される</p>
	属性 構成単位の識別子 (ID) や名称、管理区分や参照 URL などに関する情報	 <p>部屋別の<b>識別子 (ID)</b> や<b>名称</b>・<b>管理区分</b>など静的な属性情報。URL など<b>外部参照</b>定義を付記する事で<b>状態</b>・<b>履歴情報</b>との連携が可能</p>	 <p>建物別の<b>識別子 (ID)</b> や<b>名称</b>・<b>登記情報</b>など静的な属性情報。URL など<b>外部参照</b>定義を付記する事で<b>状態</b>・<b>履歴情報</b>との連携が可能</p>	 <p>敷地別の<b>識別子 (ID)</b> や<b>名称</b>・<b>登記情報</b>など静的な属性情報。URL など<b>外部参照</b>定義を付記する事で<b>状態</b>・<b>履歴情報</b>との連携が可能</p>

# 共通の空間記述情報で ロボットやIoT機器で使い回していく

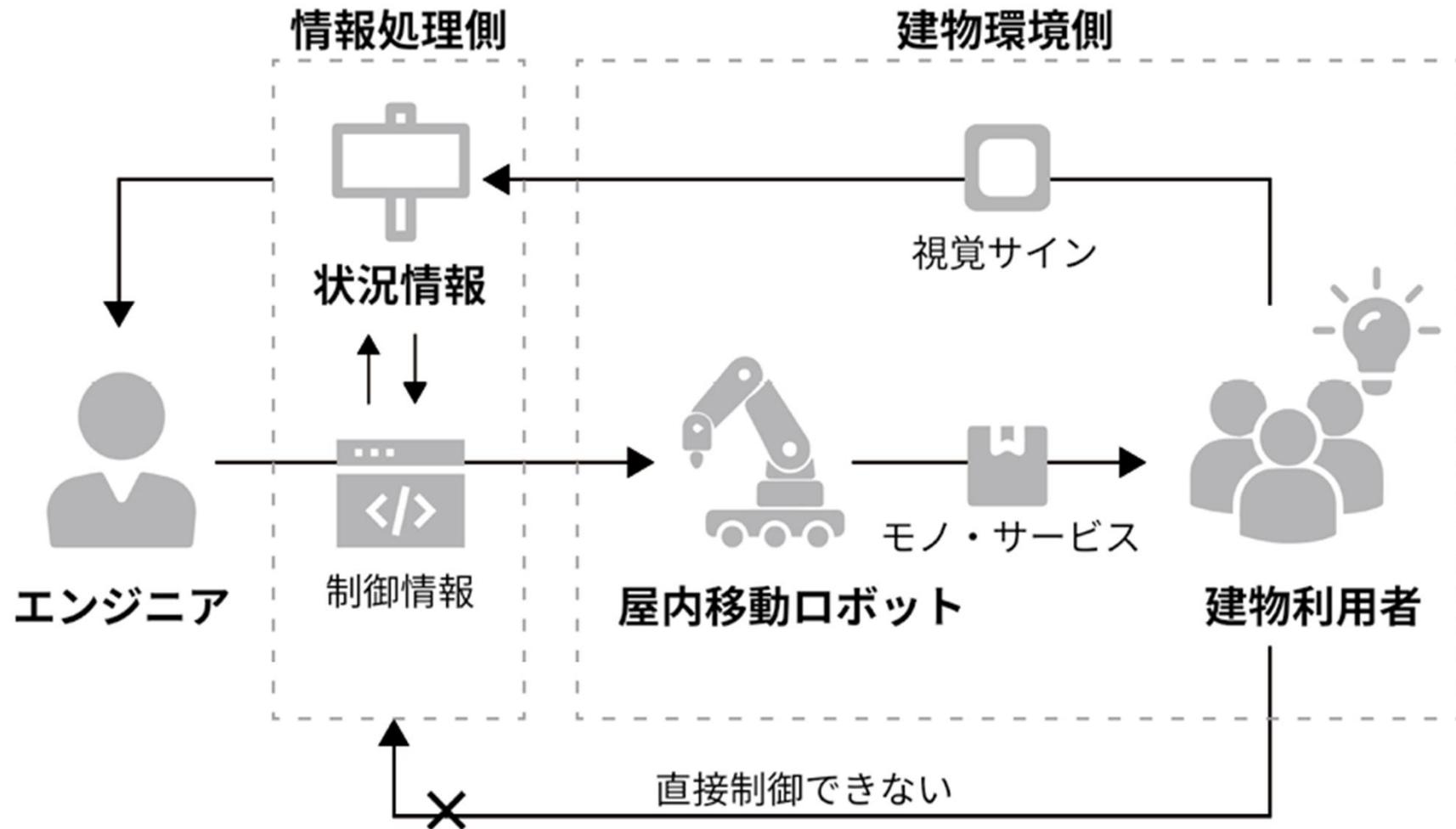
ver.0 may27 2020



# 空間情報をロボットの制御に活用するための先駆け研究例

出典：赤木拓真 機械可読な視覚サインを用いた屋内状況情報提示システムに関する研究  
東京大学大学院 建築学専攻2022年度 修士論文梗概集

## ロボット制御への状況情報提示プロセスの導入図

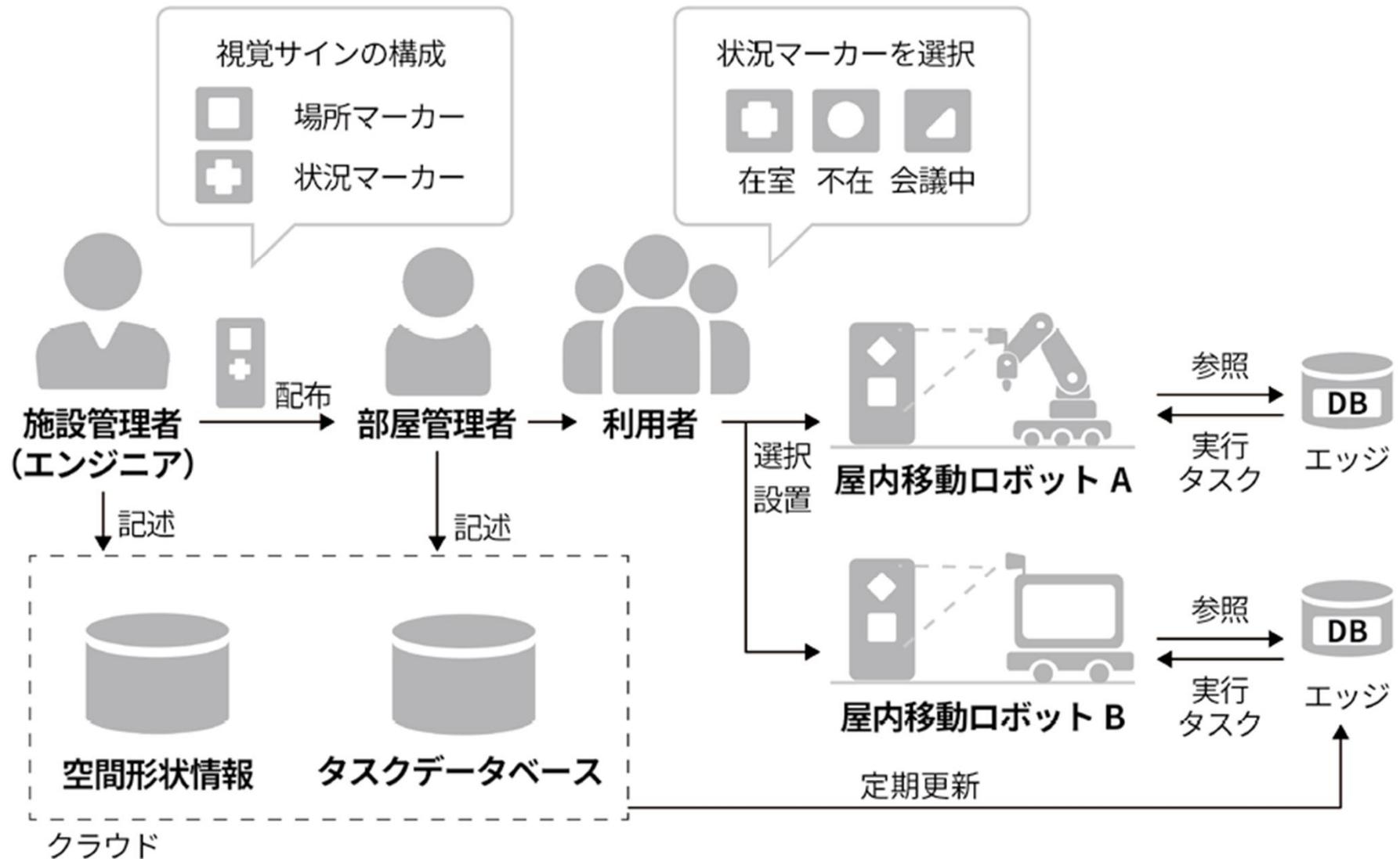


状況情報を介した情報処理プロセスを構築することで、誰でも手軽に円滑にロボット制御に参加できる

# 空間情報をロボットの制御に活用するための先駆け研究例

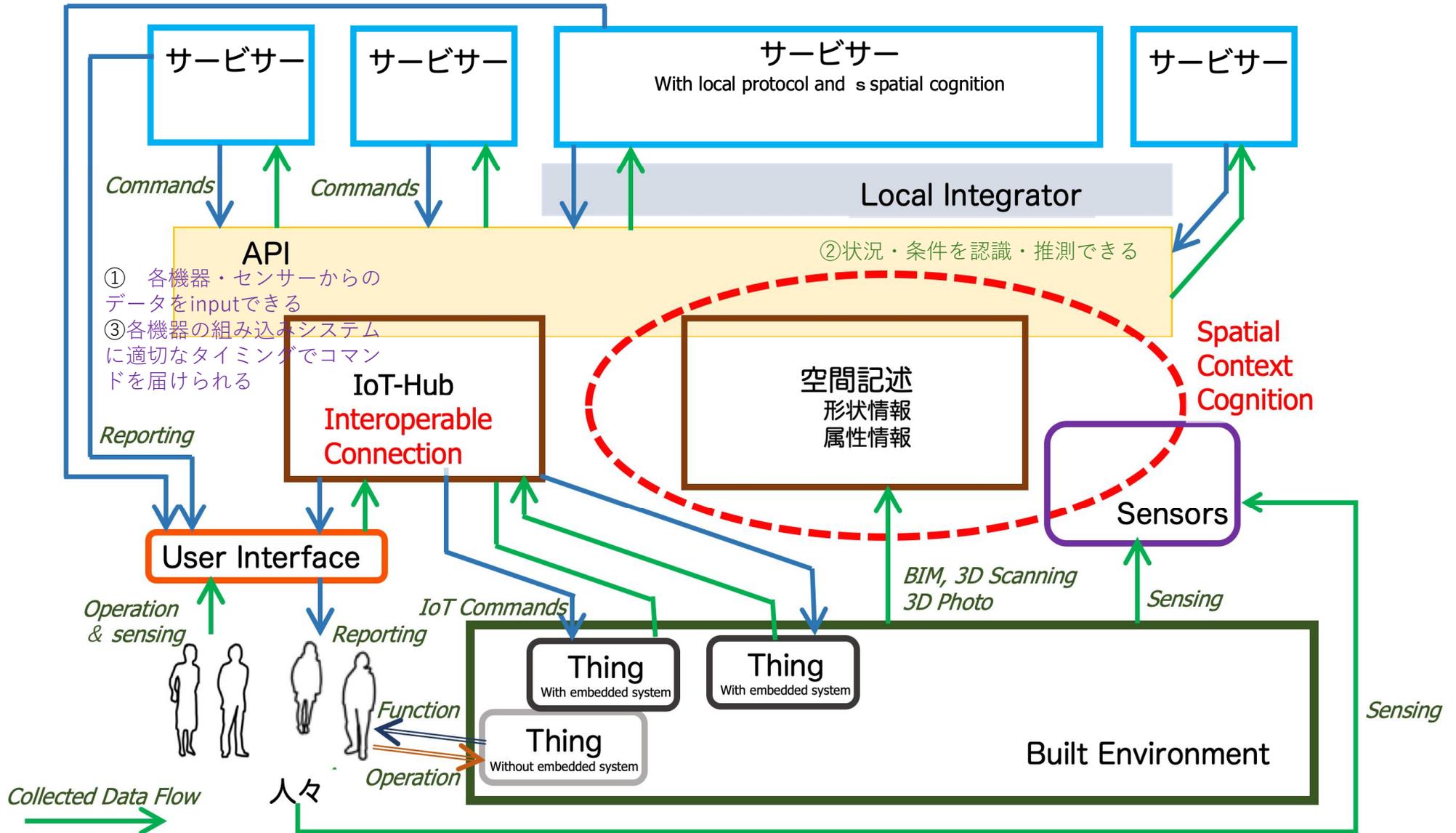
出典：赤木拓真 機械可読な視覚サインを用いた屋内状況情報提示システムに関する研究  
東京大学大学院 建築学専攻2022年度 修士論文梗概集

## 赤木拓真が提案した状況情報提示システムの概念図



# 共通の空間記述情報で ロボットやIoT機器で使い回していく

ver.0 may27 2020



# 東京大学生産技術研究所 インタースペース研究センター

<https://www.interspace.iis.u-tokyo.ac.jp/>



インタースペース研究センター  
Interspace Research Center

[ホーム](#) [関連研究室](#) [研究テーマ](#) [▼](#) [刊行物・学会発表など](#) [イベント](#) [コンタクト](#) [🇯🇵 日本語](#) [▼](#)

## 次世代型汎用空間記述の体系化へ

建築・都市空間のデジタルツイン化、ミラーワールド化の進行が、実生活の中でも直接・間接に多様な形で大きな影響を持ち始めています。情報空間の体系化や制御自体がまだ発展途上の段階にありますが、情報空間での社会・経済活動が充実するほど、それらと物理空間との独立的・経時的・同時的な双方向連携の多様な形が、より具体的な技術体系として求められ、かつそうした体系や仕様相互の棲み分けや協働の手法も、一層精緻に求められるようになっていくことが予想されます。

インタースペース研究センターでは、多様なサブドメインを持つサイバーフィジカル連携領域を異なる空間どうしが接する「空間際」、すなわち「インタースペース」と呼び、時間や空間スケール、その中で扱う属性やデータの構造および使われる産業ドメインごとの差異にもとづいた体系化と相互連携のしくみの構築を目的に、より高度なサイバーフィジカル連携社会の実装を目指し、国際的な研究拠点となることを企図して2021年に設立されました。

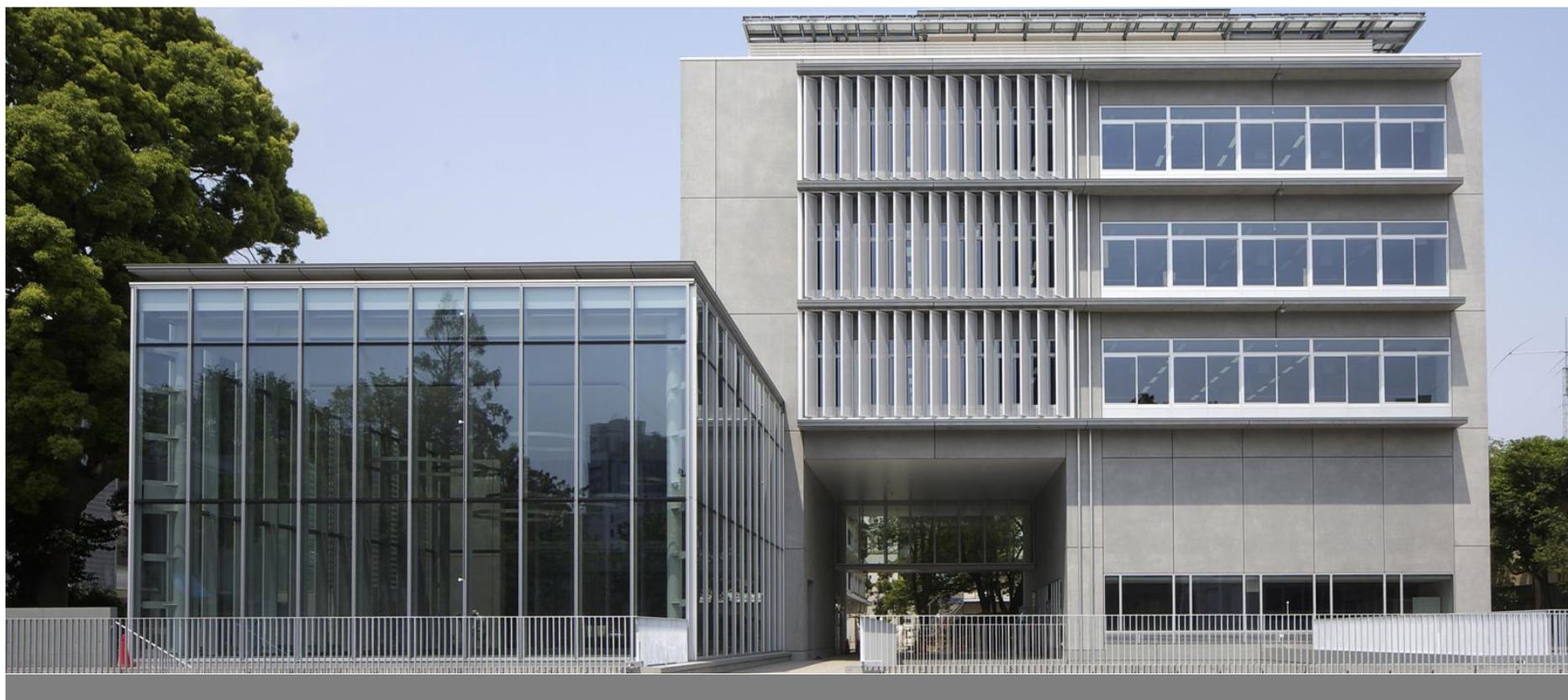
本センターには、2023年4月現在、空間記述やセンシングやアクチュエーションにかかわる異なる専門性を持つ9の研究室が所属し、各領域および相互連携の可能性の探索を進めています。

1-3

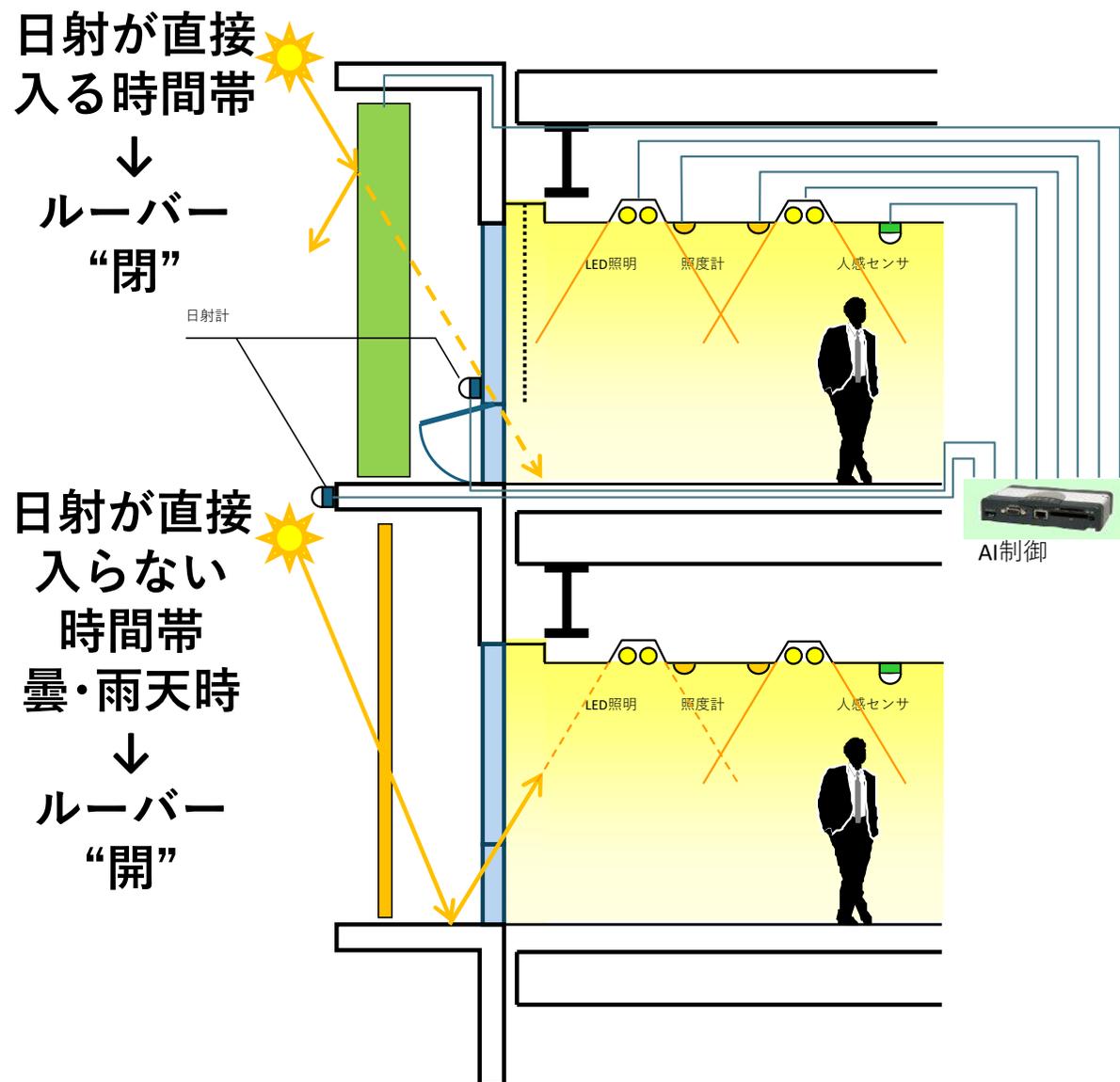
個別分散協調のためのInteroperability

# 21 KOMCEE 理想の教育棟

“Komaba Centre for Educational Excellence”  
Zero Energy Building in the University of Tokyo



# 自然光活用LED調光システム@理想の教育棟



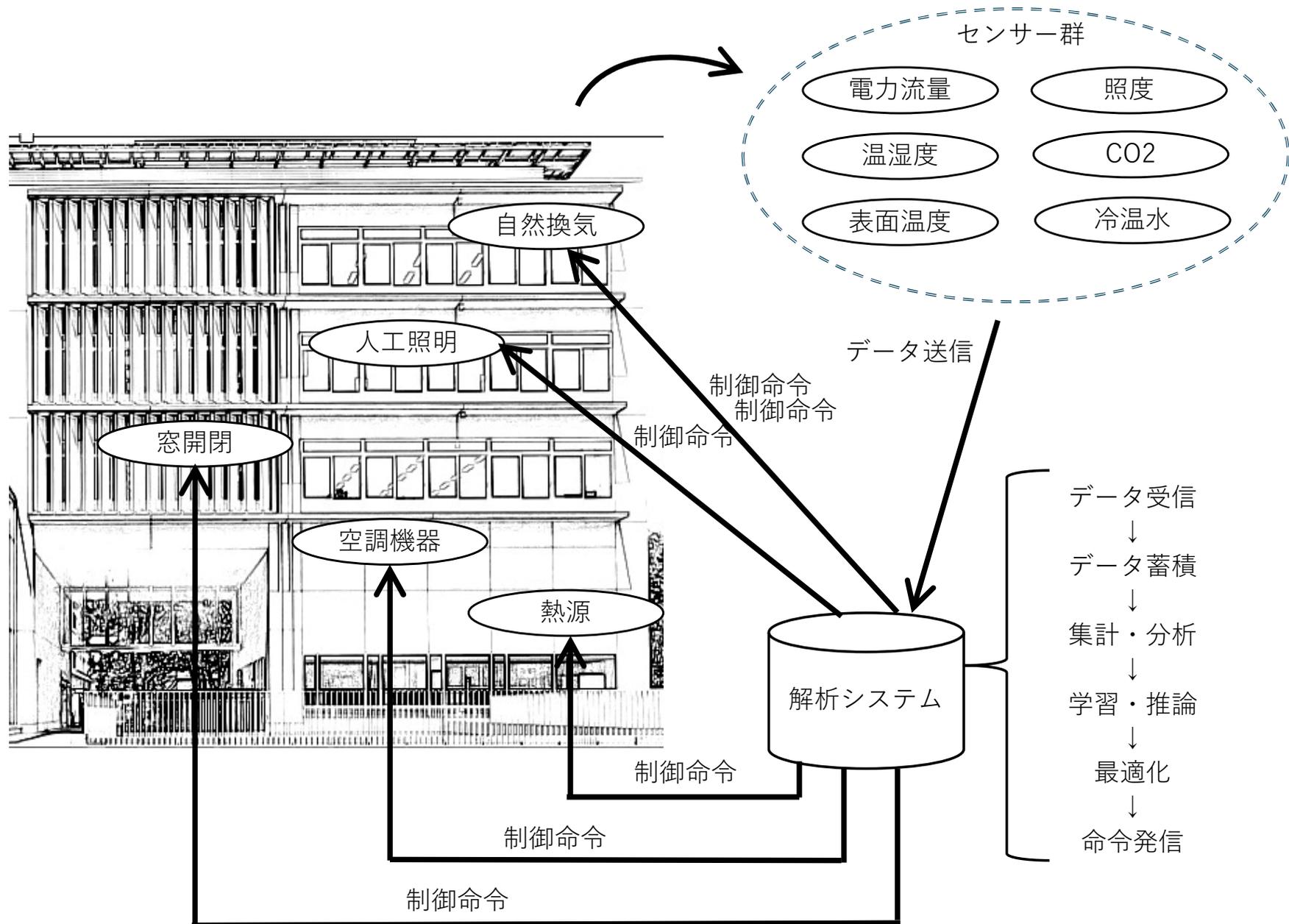
## ■ルーバーの動作

- ①日射計により晴れ/曇りを判定
- ②曇りや雨の日にはルーバーを開けて自然光をスタジオに取り込み
- ③晴れの日でスタジオに直射日光が入らない時間帯はルーバーを開け留
- ④室内暖房中は直射日光を積極的に取り込み、暖房エネルギーを削減します。

## ■照明制御

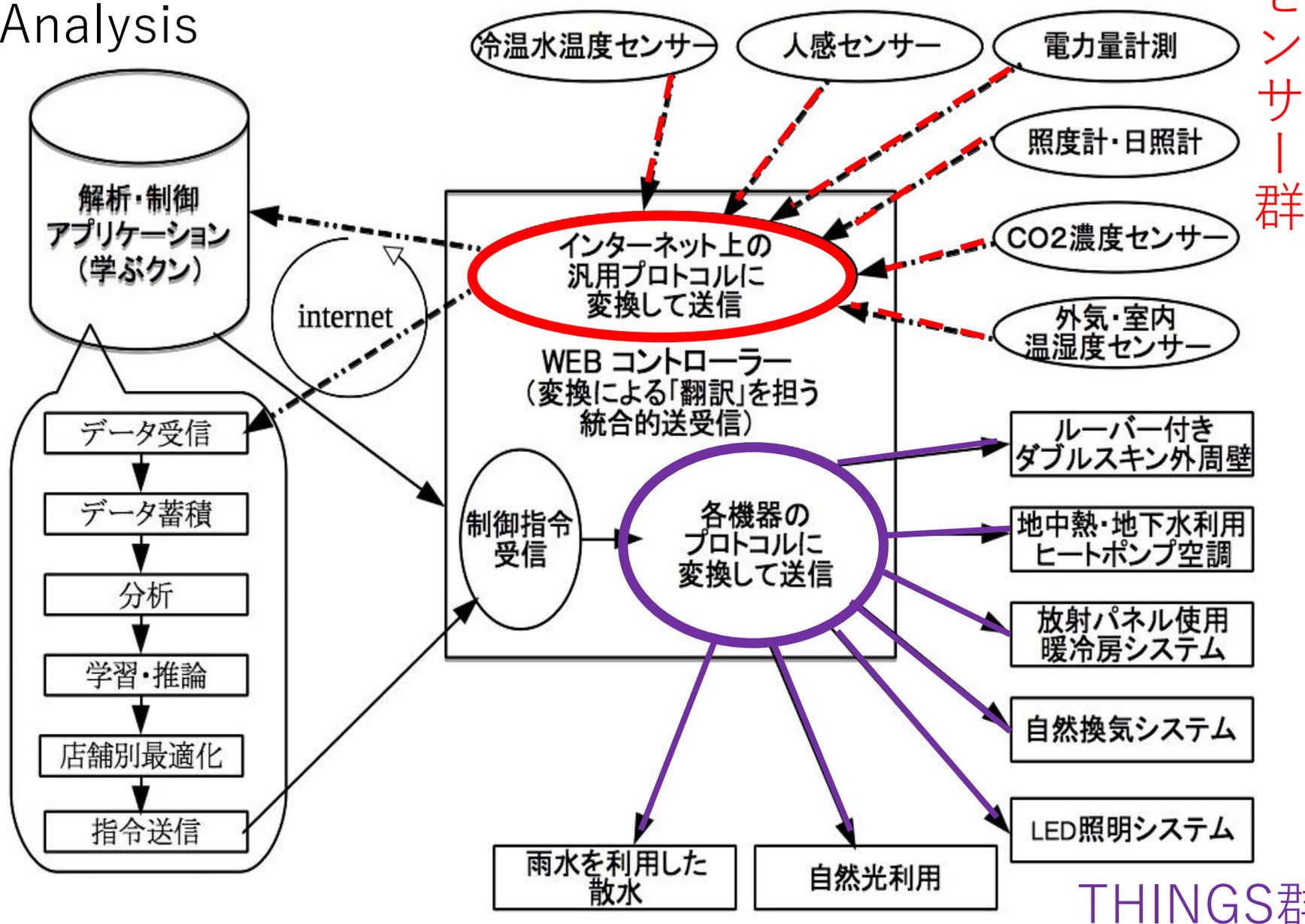
- ①人感センサーで人を感知したエリアの照明を点灯します。
- ②ルーバーが開の時は、自然光が最大になるようにルーバー角度を調整します。
- ③照度計により必要十分な照度にLED照明を調光します。(0~100%)

# IoTによるエネルギー運用改善サービスの普及



# 繋げるためにデータ・コマンドをいちいち変換

Data Analysis



センサー群

THINGS群

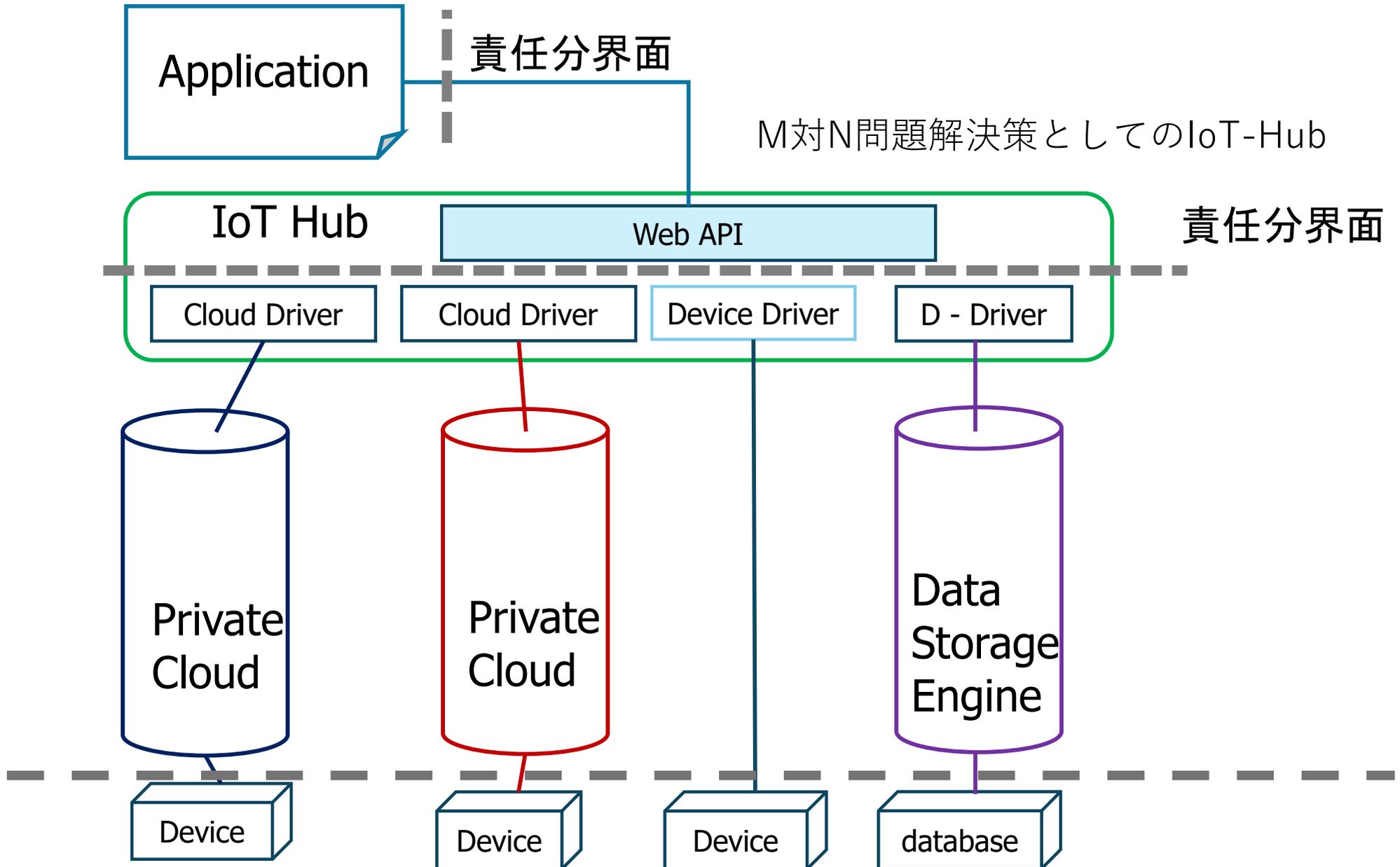
# ユーザー視点にたって ひとまとまりに働かせる

- 共同実験の場としての  
Comma House

@東京大学駒場リサーチ  
キャンパス



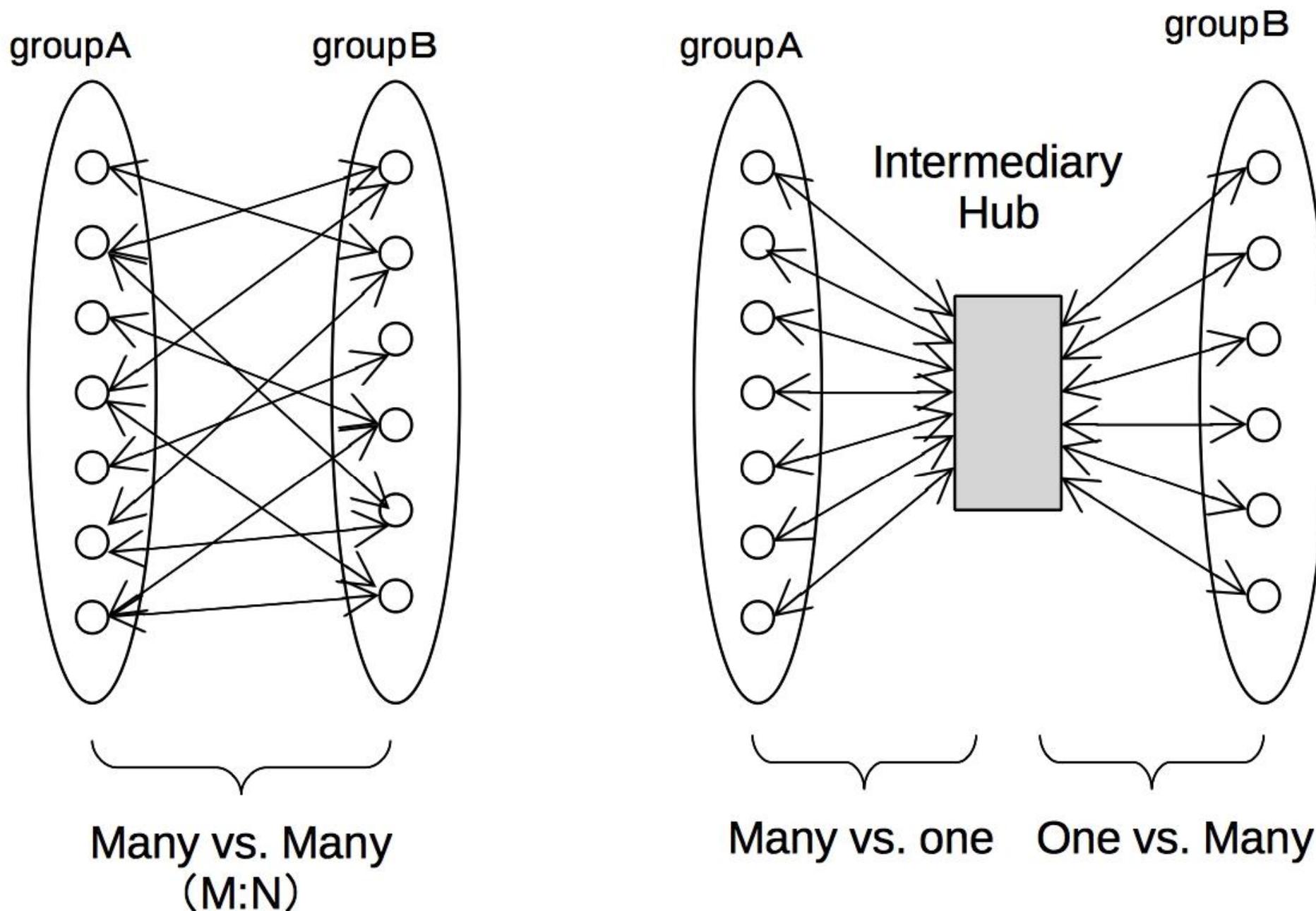
# ひとつのアプリケーションで個々別のモノを ひとまとまりに働かせる



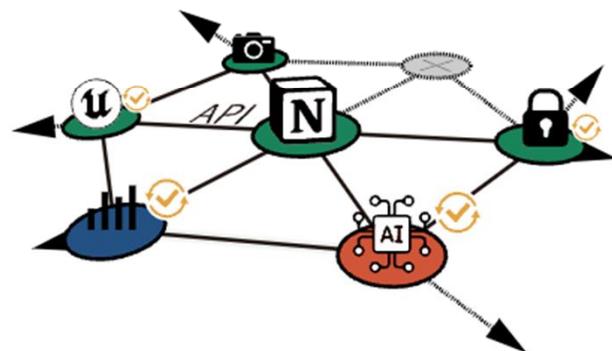
# 2018年馬場博之らによる IoT-Hub 実証デモンストレーション



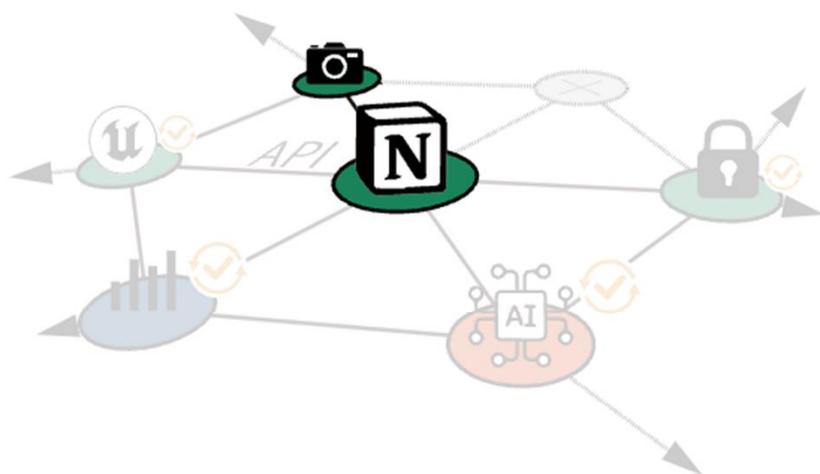
# M対N問題をひもとくための解法の一つ



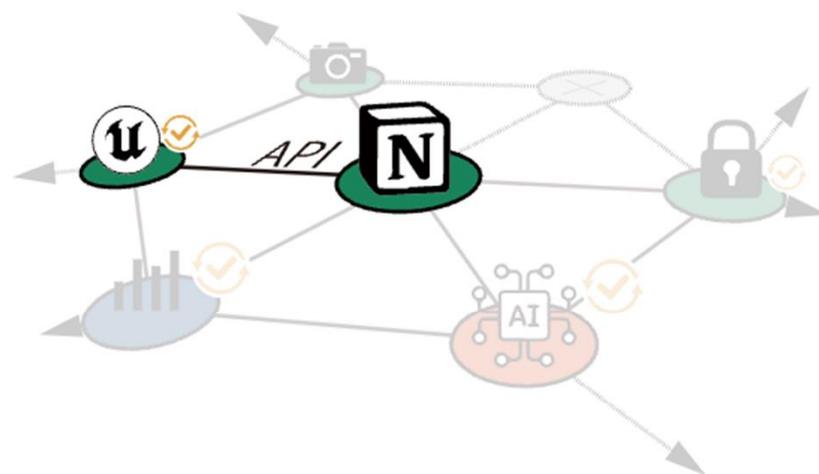
# FMで個々別々のデータベースを ひとまとまりに働かせる事例



個別分散協調型FMシステム事例  
by Air-Plate 梓総合研究所  
<https://air-plate.jp/new-bimfm#usability>



**Notion + NavVis**

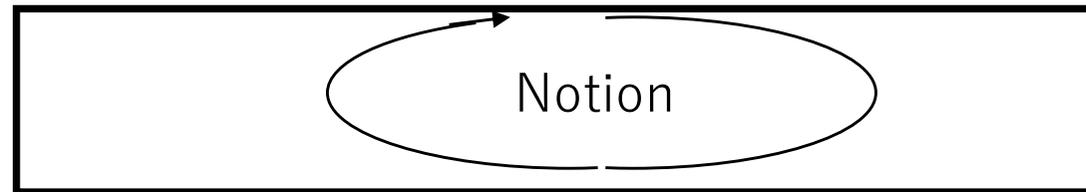


**Notion + Unreal**

# Air-Plateの内部構造

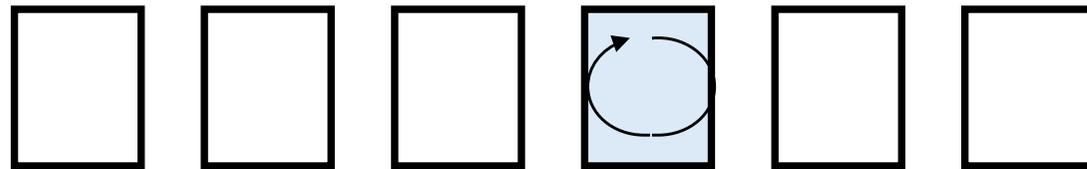
## 個別分散協調型Facility Management System

ユーザー  
インターフェース



接続のためのインターフェースルール

各種アプリケーション  
多様なベンダーが提供



施設用途・業態・組織事情に応じて  
アプリケーションを組み合わせ

## 2. 技術開発はproject based

# 建設におけるイノベーションは 技術開発→社会実装なのか？

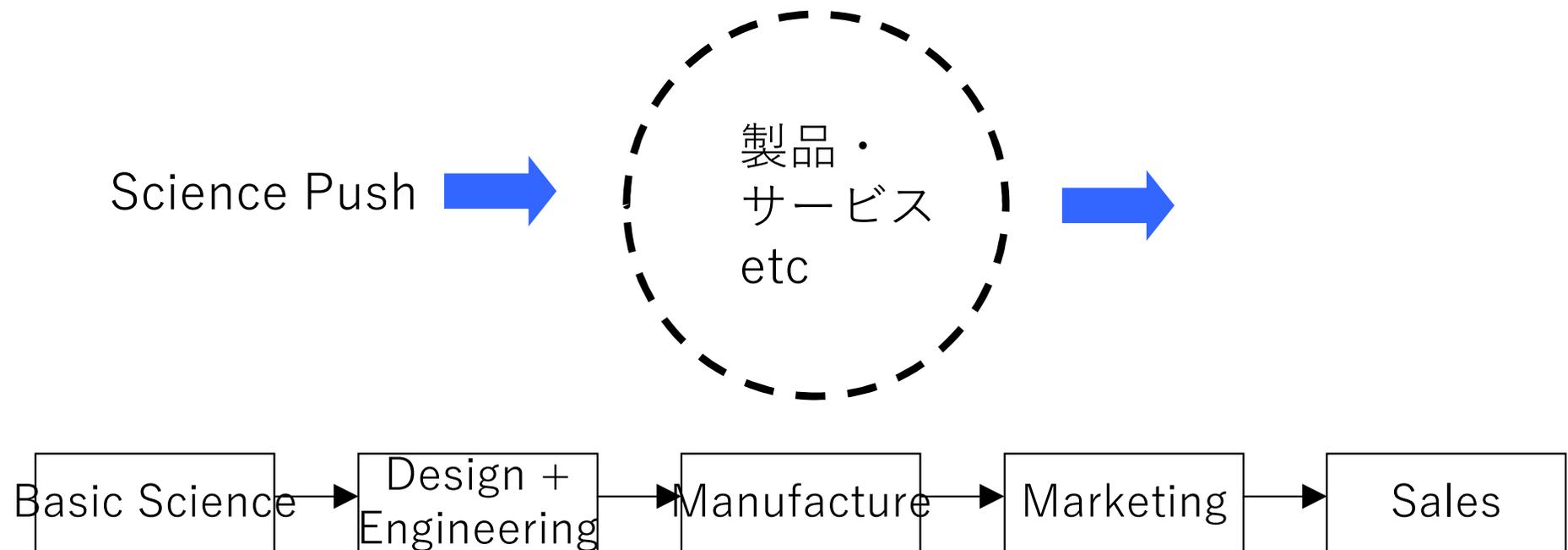
イノベーション・プロセスにかかわる最も古典的なモデル

Science-supply driven model

(The first generation innovation process)

Mark Dodgson, David Gann, Ammon Salter,

“Think, Play, Do – Technology, and Organization, Oxford university Press 2005

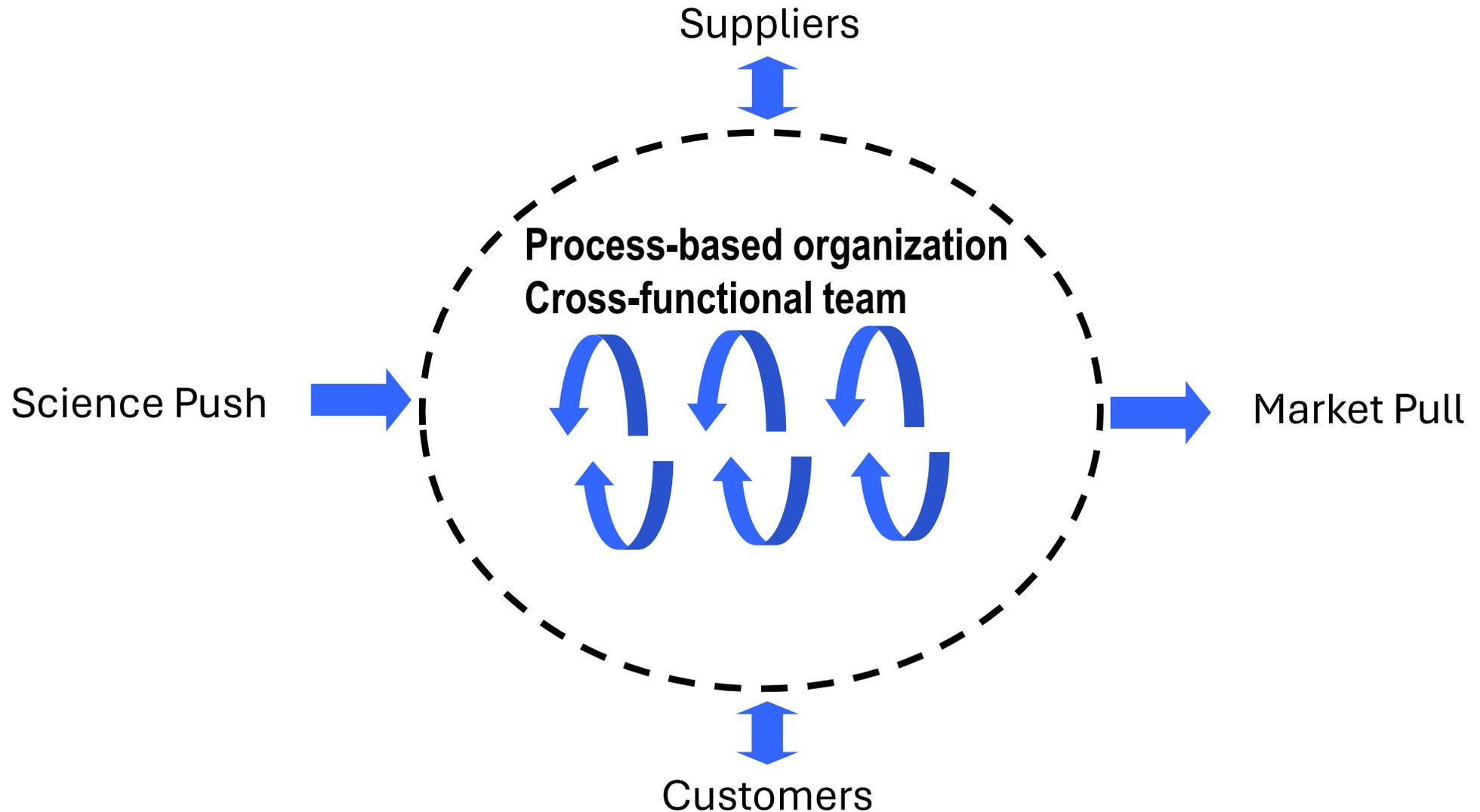


# むしろ、いったりきたりするプロセスを辿る

## Integrated model

(The fourth generation innovation process)

Mark Dodgson, David Gann, Ammon Salter, "Think, Play, Do – Technology, and Organization, Oxford university Press 2005



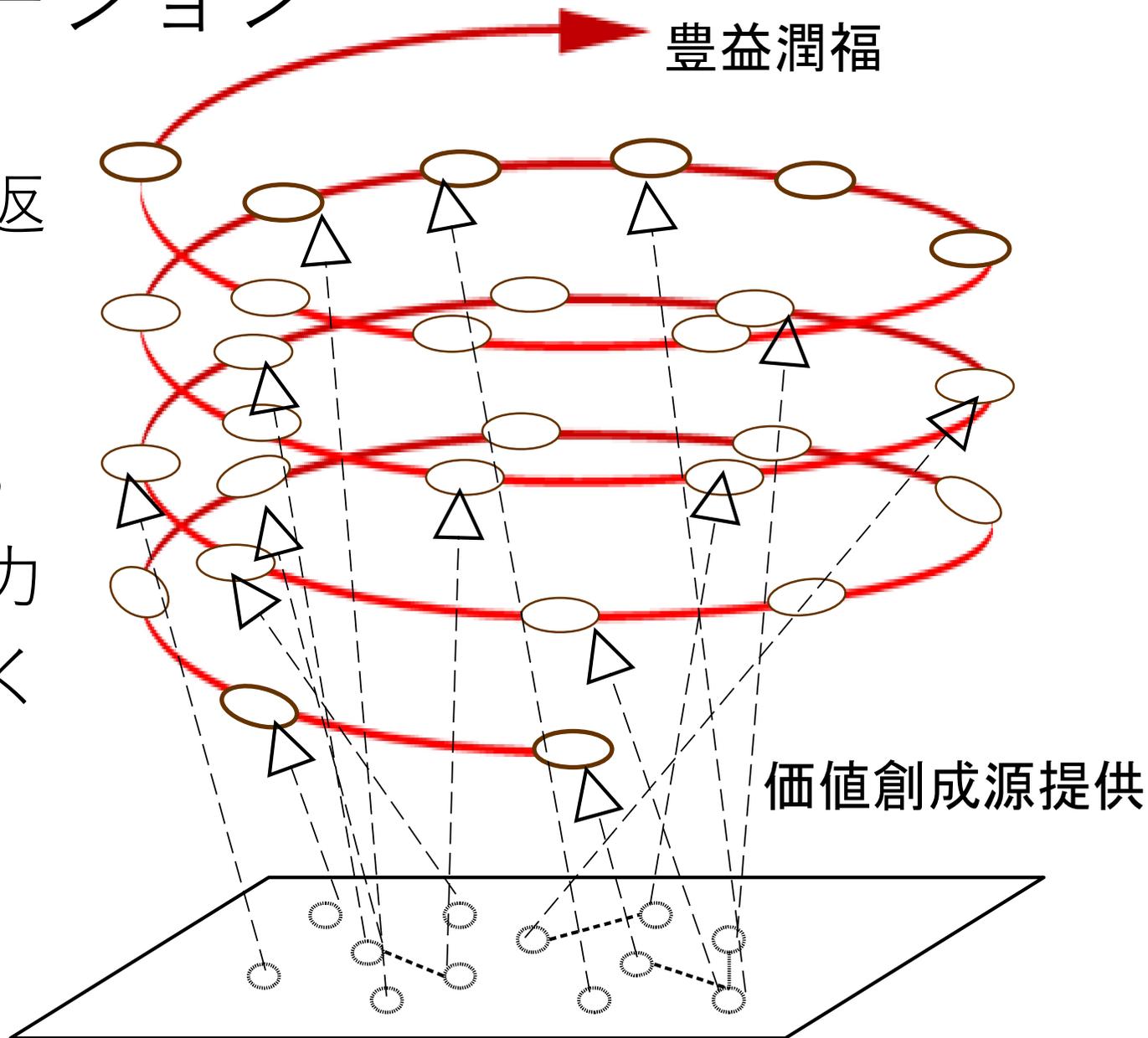
# 豊益潤福とは

- 野城による造語
- 「豊」= 精神的・身体的・経済的な充足  
( richness and fullness )
- 「益」= 人や社会に役立つこと 利便性、便益の  
向上  
(benefit)
- 「潤」= 精神的・身体的・経済的な潤い  
(amenity)
- 「福」= しあわせ  
(welfare)

# 現代のイノベーション

豊益潤福

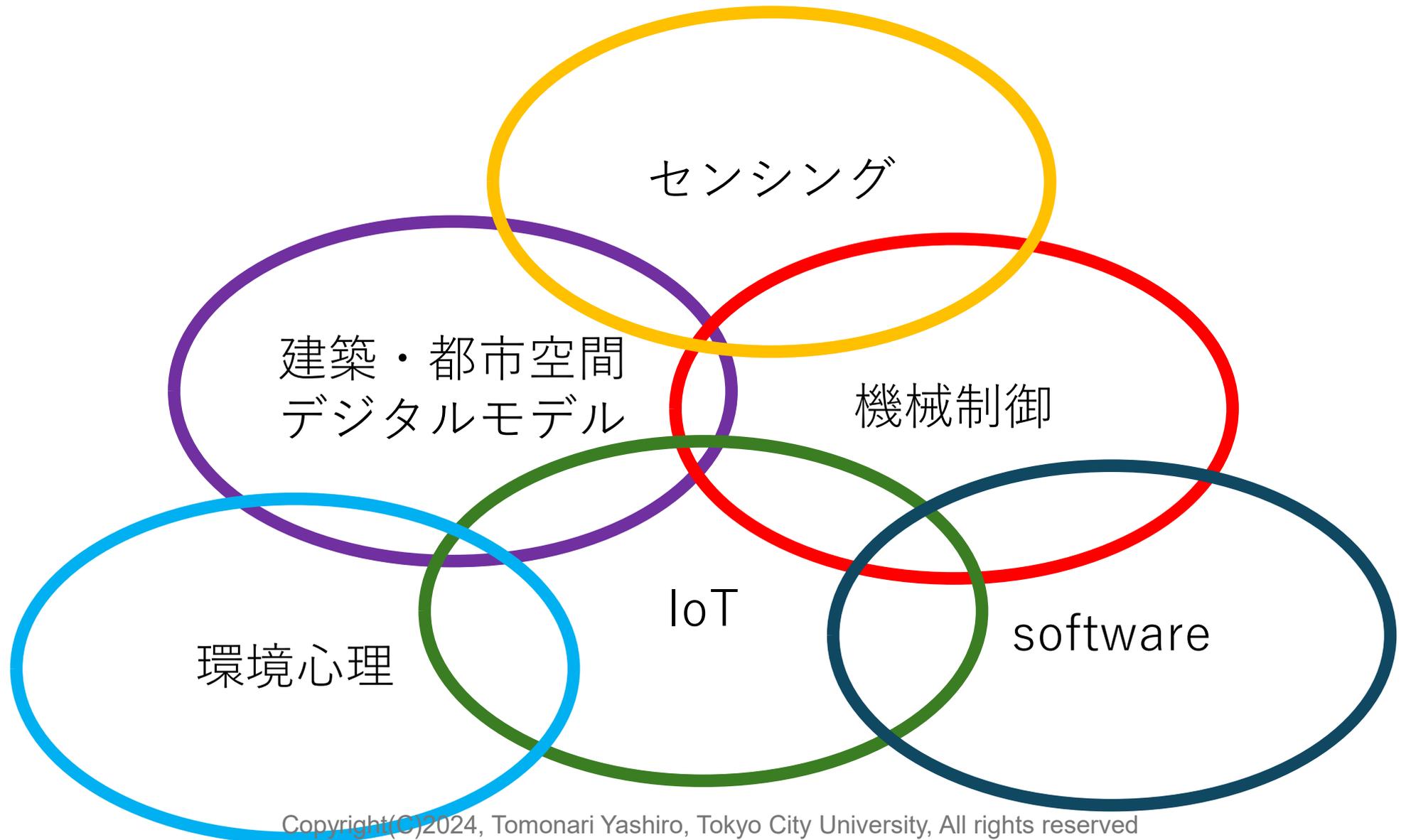
プロセスを繰り返しながら  
節目節目で  
様々な主体から  
情報、知識、能力  
を吸い込んでいく



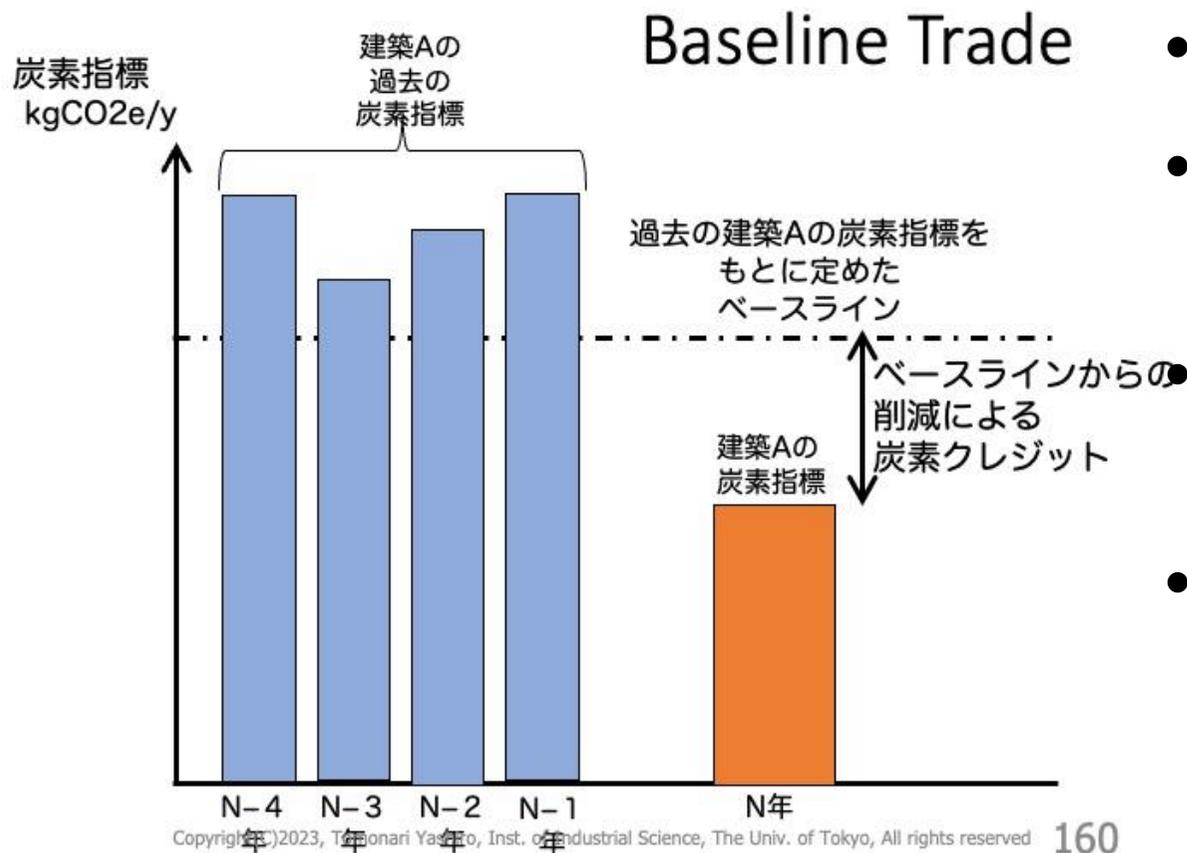
価値創成源提供

主体群：協働関係の形成

例えば、都市空間で  
人と、ロボットと、ドアが  
協調的に動くためには…



# 例えば、都市空間からの 温暖化ガス削減を動機づける Carbon Trading を導入していくためには



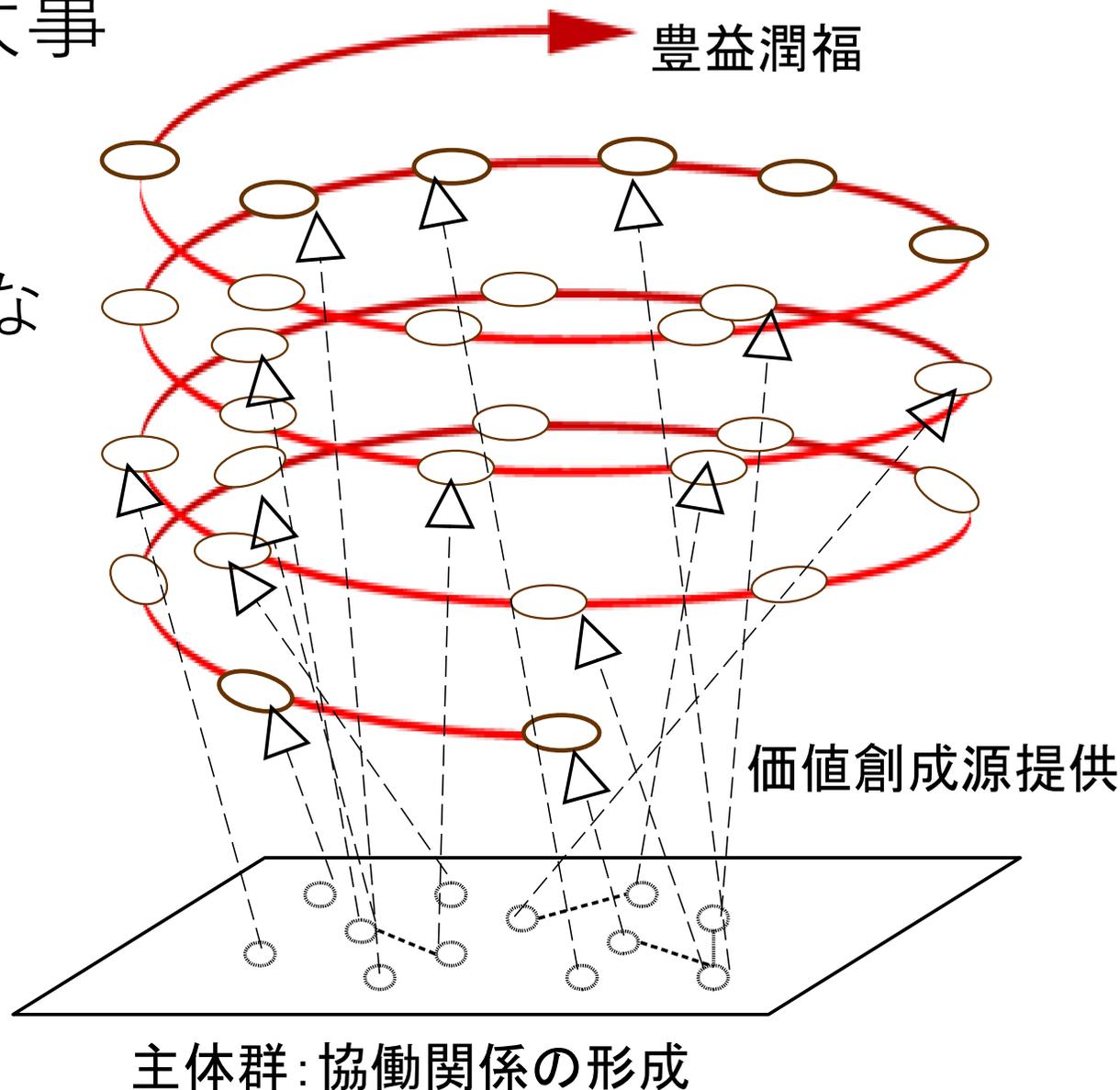
- 排出量計測技術
- 排出量抑制技術（省エネルギー技術）
- 検証、監査保証のためのData management
- 取引コスト低減のための電子取引システム

などなど

ぐるぐるまわりはじめる  
きっかけとして  
プロジェクトが大事

プロセスを繰り返しながら

節目節目で  
様々な主体から  
情報、知識、能力  
を吸い込んでいく



# 霞ヶ関ビルプロジェクト1968を契機に 開発された技術例

- セルフクライミング式タワークレーン
- デッキプレート
- 各種組み立てる各種のプレハブ工法
- 高速エレベーター
- PERT工程管理システム
- 構造計算におけるコンピューター利用

などなど

結び：建設はプロジェクト・ベースの営為である

Construction as project based (or at least led) economic activity  
by Steven Groak

独自の要求条件に基づいて、独自の資源の需要・供給の連鎖をおこし、独自のプロセスをたどりながら、それらの資源が組み合わされていく行為

Construction as a project-based (or at least project-led) economic activity, with its arrangements and disposal of resources induced by those projects and borrowing across technological bases, almost unpredictably .

Project is, in a sense, an invention - of the client, the users, as a consequence of a design - driven by a variety of factors and agents, some identifiable, some not.

Steven Groak, **Is Construction an industry? Notes towards a greater analytic emphasis on external linkages**, Construction management and economics, pp287- pp293, vol.12, no.4, July 1994

ここでいう資源には経営資源も含まれる

人材・資金・技術・知識・情報・組織慣行 など

ご清聴有難うございました