

建築物の長寿命化に資する技術の過去・現在・未来 ～ユーザーに適切な情報を提供するDX～



高橋典之（東北大学）

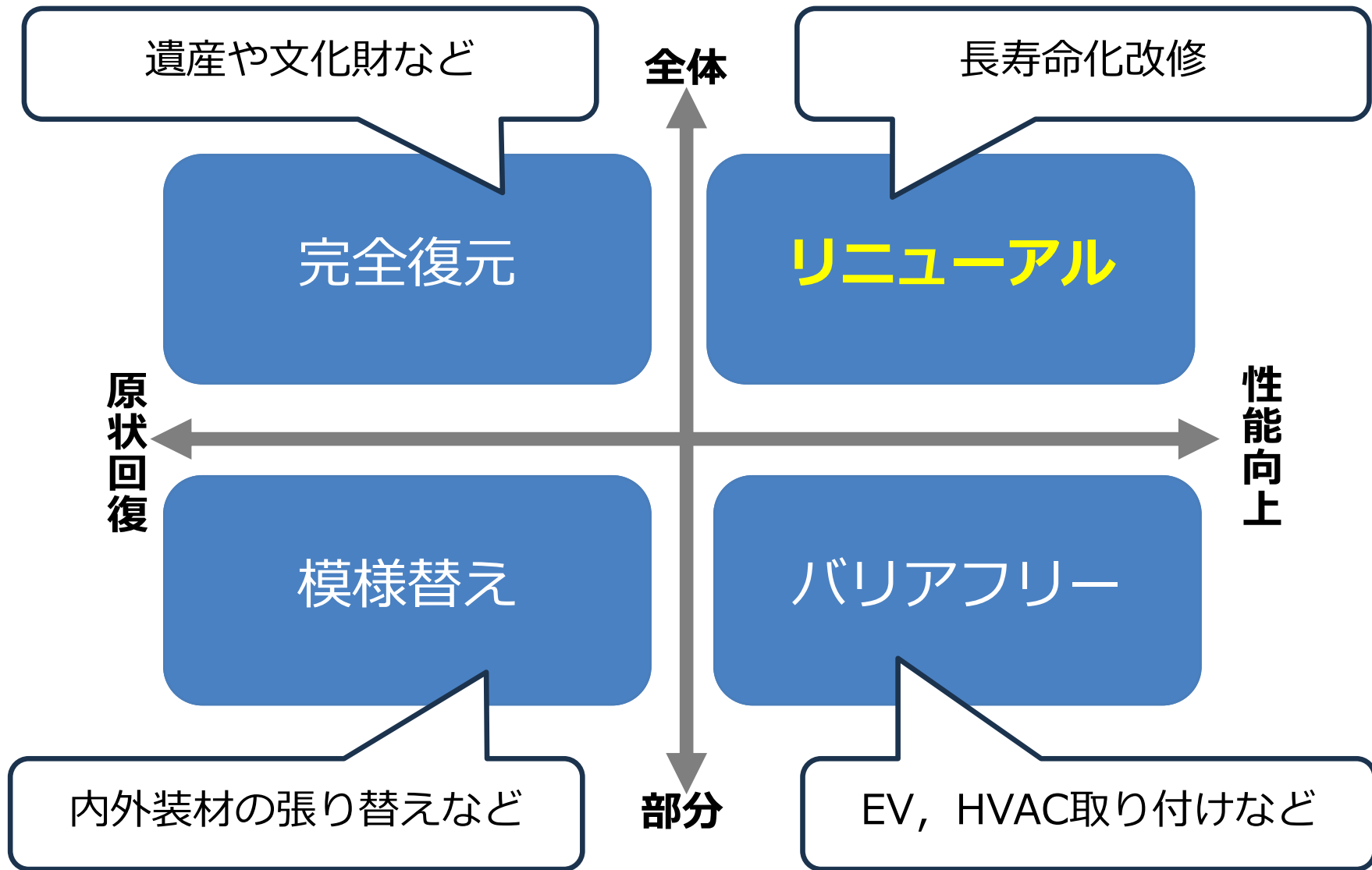
建物長寿命化への取り組みの歴史

History of long-life buildings

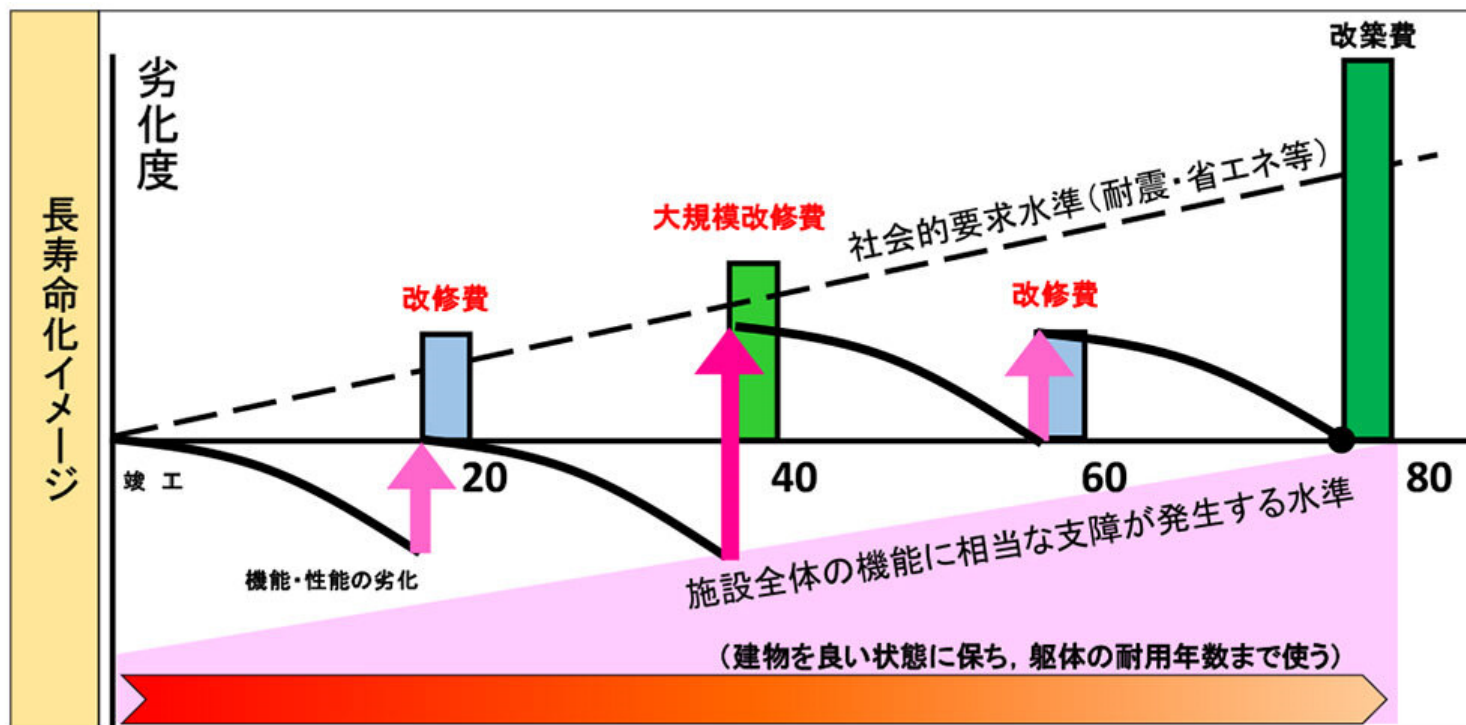
国内の建物長寿命化への取組み | To long-life buildings

- 経済財政改革の基本方針2007（2007年6月閣議決定）…「骨太方針2007」
→住宅の長寿命化(200年住宅)に向けた取組を進める
- 長期優良住宅の普及の促進に関する法律（2008年制定）
- 長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準（国交省告示第209号）（2009年）
 - 6つの性能項目を評価
 - ・劣化対策（**新築**）
 - ・耐震性（**新築**）
 - ・可変性（共同住宅・長屋）
 - ・維持管理・更新の容易性（**新築**）
 - ・高齢者等対策（共同住宅）
 - ・省エネルギー対策（**新築**）
- 国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）（2014年5月21日）
 - 文部科学省「学校施設の**長寿命化改修**の手引」（2014年）
 - 公共建築分野における長寿命化計画実践資料集（営繕主管課長会議）（2015年）

国内の建物長寿命化への取組み | To long-life buildings

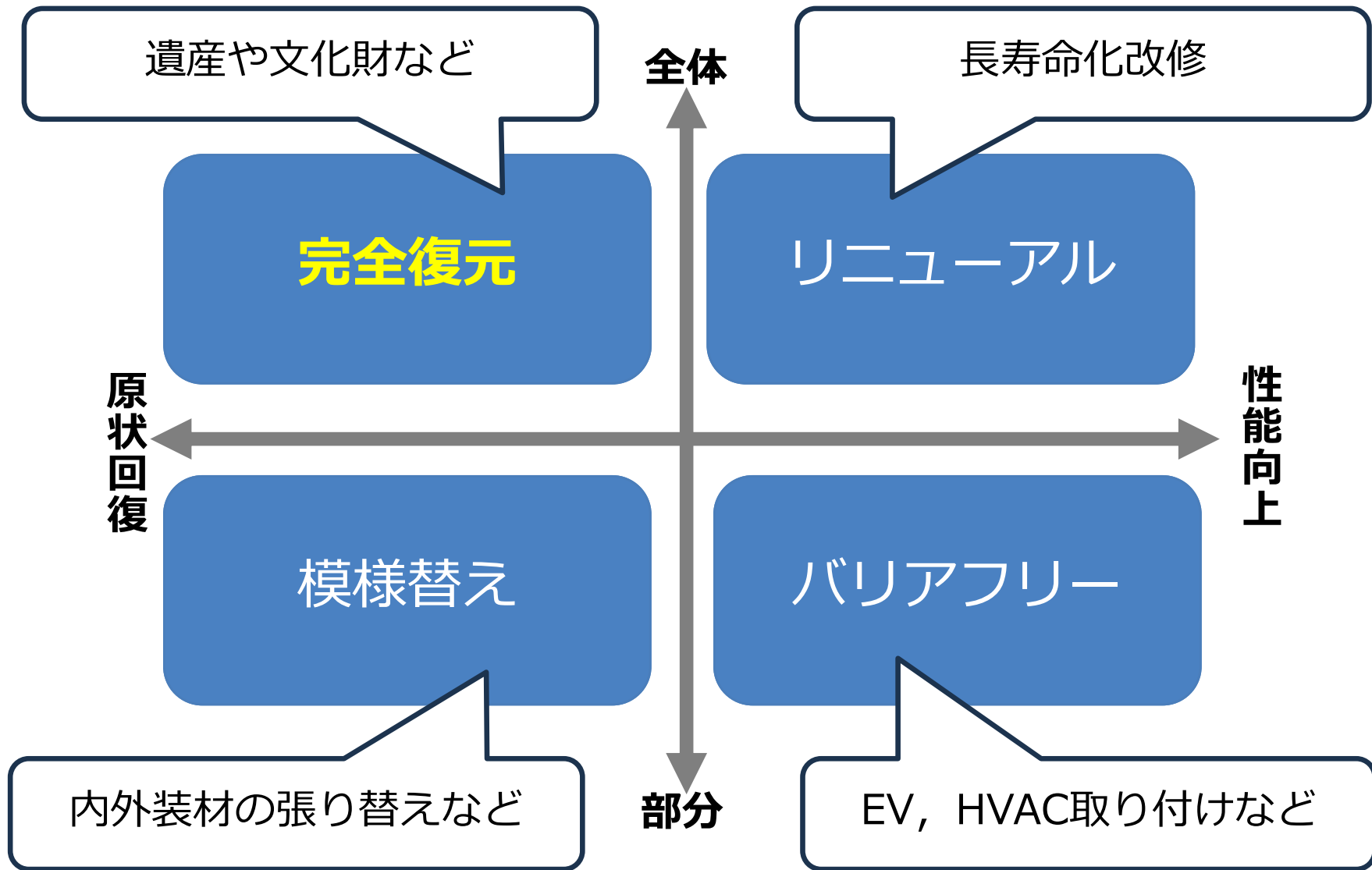


国内の建物長寿命化への取組み | To long-life buildings

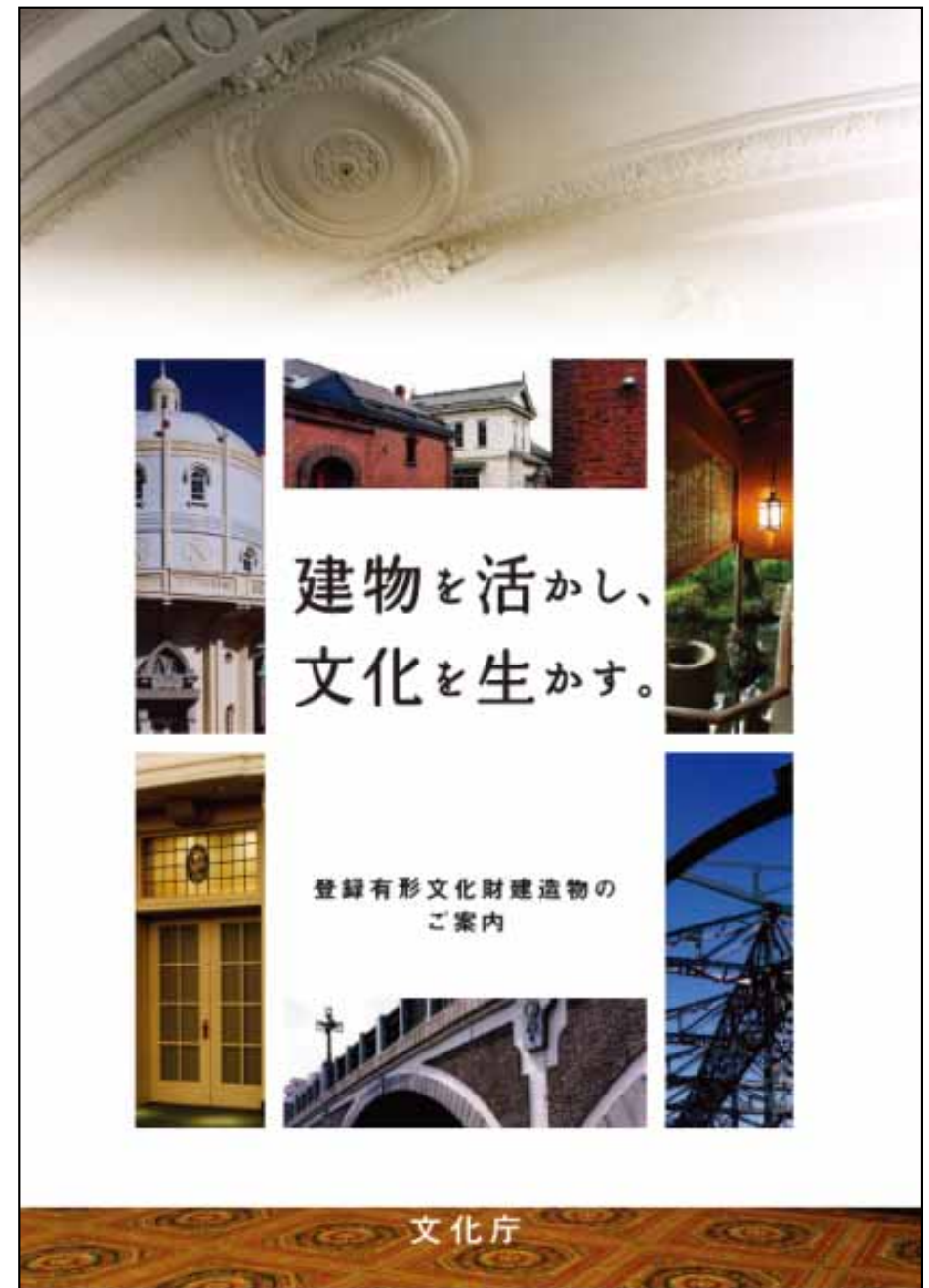


◇改修(築20, 60年目) 【機能回復】	◎大規模改修(築40年目) 【機能回復+機能向上】
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 外壁改修 ◇ 屋上防水改修及び金属屋根改修 ◇ 空調設備機器更新 ◇ 照明機器, 非常放送設備等 電気設備 機器の更新 ◇ 故障・不具合修繕等 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 左記の大規模改修 ◎ 中性化対策 ◎ 給排水設備改修等 ◎ LED, トイレ洋式等による 生活環境面の機能向上 ◎ 可動間仕切りの設置等による 学習環境面の機能向上

国内の建物長寿命化への取組み | To long-life buildings



歴史的建造物では… | for historic buildings



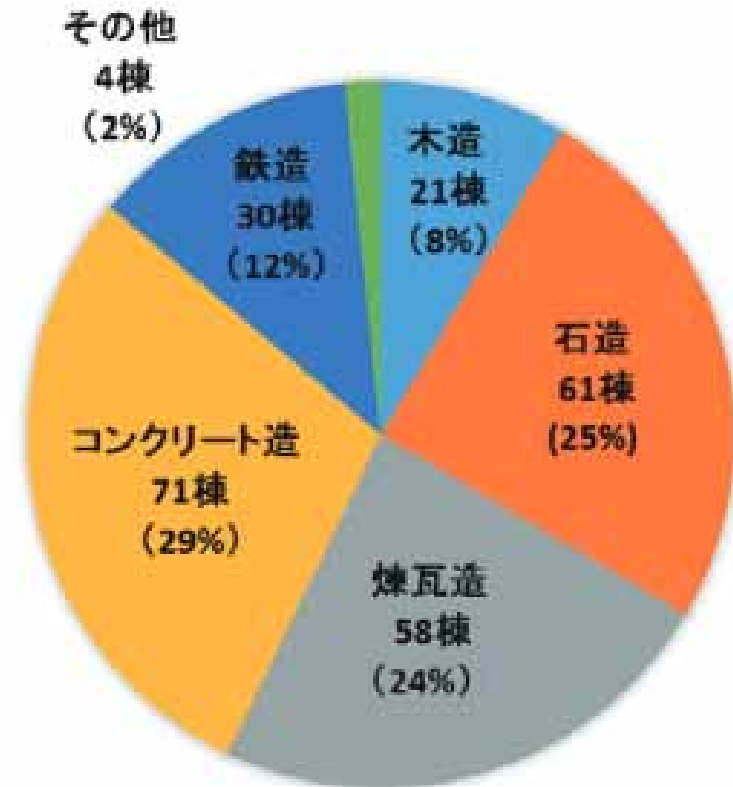
1996年文化財登録制度 → 構造補強事例などの情報共有が進められてきた

ガイドラインはあれど… | Examples of Guidelines

日本/Japan

- 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会、JCI、2007.6
- 歴史的煉瓦造建造物の構造検討のための調査方法、文化財建造物保存技術協会、2009.3
- 煉瓦造建築物の耐震診断基準、北海道建築技術協会、2012.3
- 重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引、文化庁文化財部参事官、2013.10

→ RC造の事例記述は極めて少ない。



日本の近代化遺産の構造種別（平成26年12月10日現在）

長谷川直司：歴史的建造物の保存再生に求められる技術
(BRI-H26講演会テキスト)

オーセンティシティとか… | How to keep Authenticity



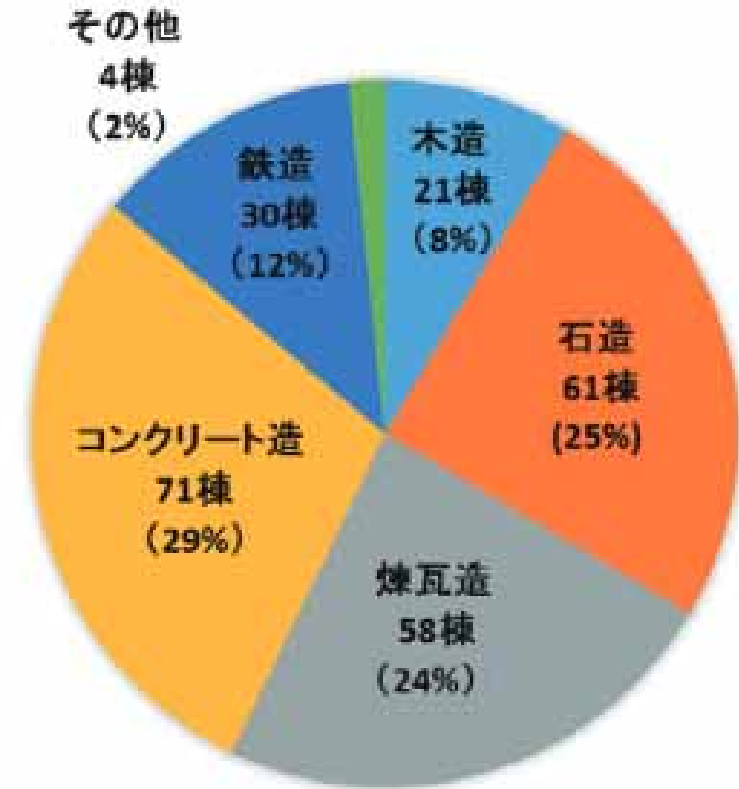
劣化コンクリート

→可逆性を確保したままの改修は可能か？



組積造

→積み方・順番・目地モルタルのどこまでをオリジナルに忠実にした改修が可能か？



日本の近代化遺産の構造種別（平成26年12月10日現在）

長谷川直司：歴史的建造物の保存再生に求められる技術
(BRI-H26講演会テキスト)

安全性確保が難しい… | Difficulties for Safety

例) イタリア・ラクイラ教会被害 (2009)



直接被害額：1450万ユーロ

例) 熊本城被害 (2016)



直接被害 (復旧費) : 634億円
観光等の間接被害 : その数倍

- ➡ 現行耐震基準と照らし合わせて再使用するには莫大な補修費用が必要
- ➡ 調査にかかる時間が長引けば, Downtimeによる間接被害がさらに増大

通常の耐震診断で要求されること

Requirements for Seismic Performance
Investigation of Building Structures

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance



既存（RC）建築物の耐震診断基準 (1977, 1990改, 2001改, 2017改)

2017年改訂

→ 「形状指標」, 「袖壁付き柱」の評価方法見直し

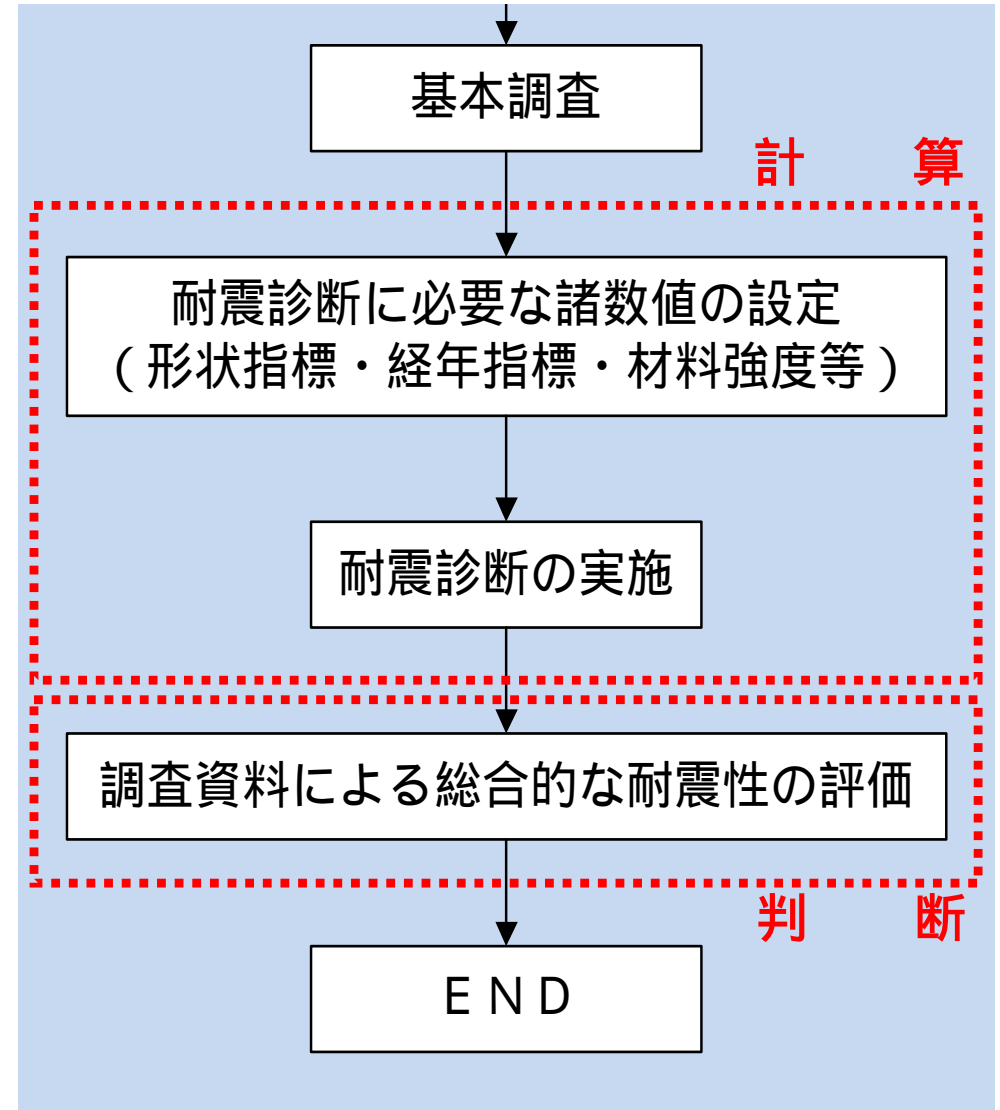
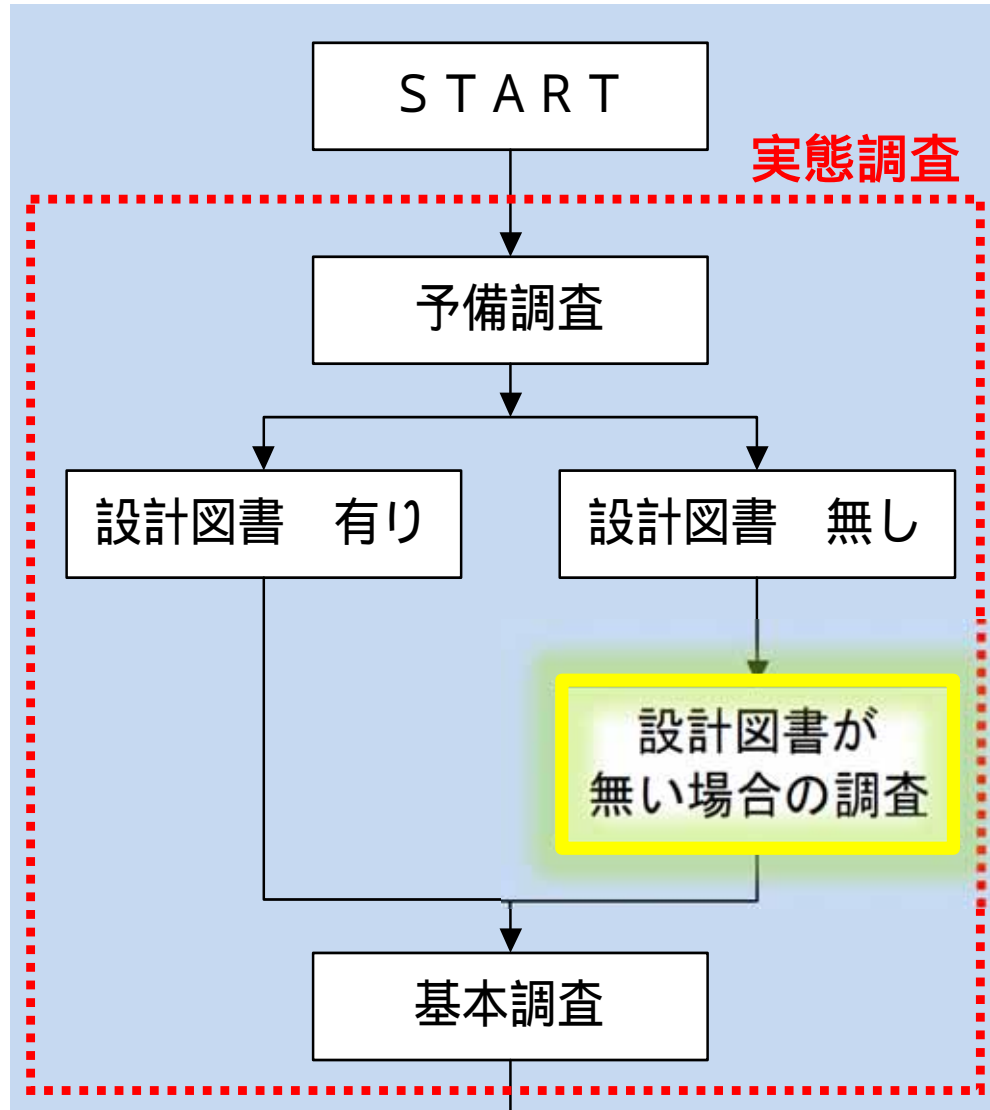
中低層（～5, 6階）RC造に適用

⇔ 高軸力・変動軸力・高次モードの影響が小さい範囲

[特徴]

- ✓ 構造物の動的応答特性を簡略化して反映（形状指標）
- ✓ 耐震性能が数値（点数）で表現
- ✓ 破壊特性に応じ1次～3次診断手法を用意

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance



耐震診断 | Investigation of Seismic Performance

目視や簡単な調査で下記の事項を実施し，形状指標 S_D や経年指標 T の算定用データを収集

- ✓履歴・外観調査
- ✓建物形状の調査
- ✓エキスパンション・ジョイントの調査（間隔）
- ✓ひび割れ調査
- ✓敷地内外の自然環境の調査
（地盤，崖，敷地状況等）
- ✓材料強度等

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance

✓形状調査 | Building shape



➡ 結構大変な作業 | It's a hard work...

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance

✓形状調査 | Building shape



➡ 結構大変な作業 | It's a hard work...

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance

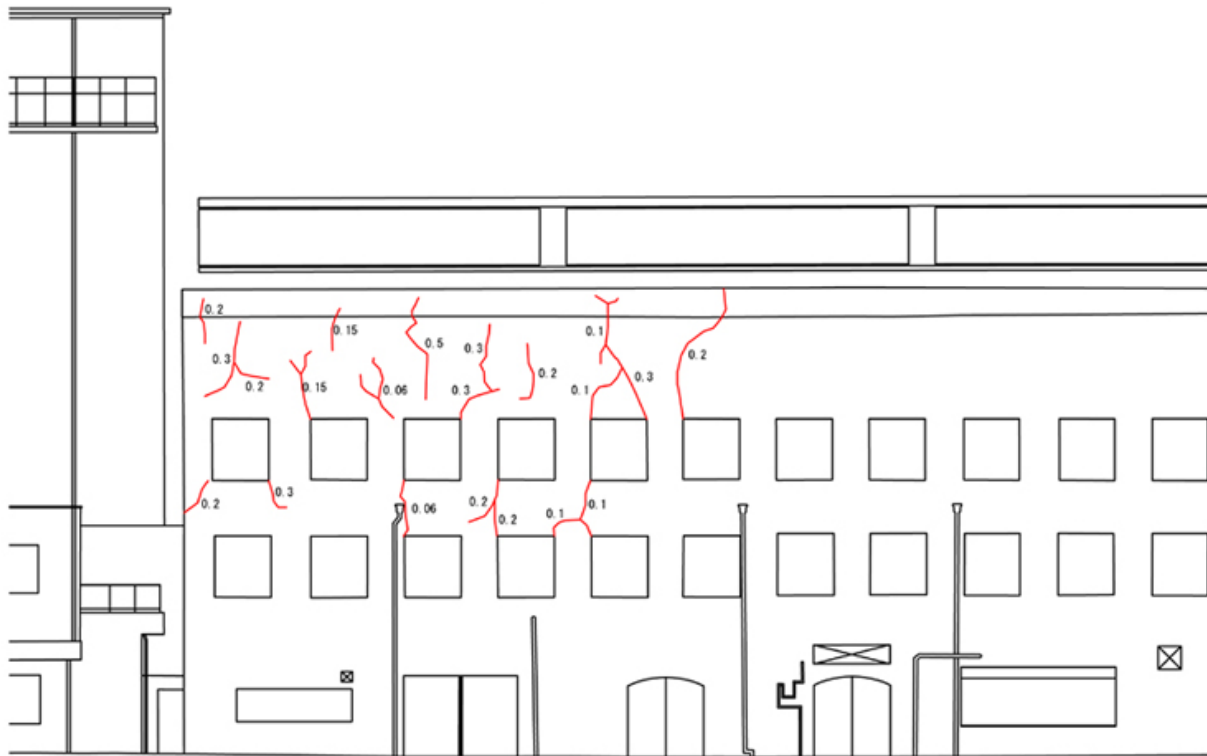
✓形状調査 | Building shape



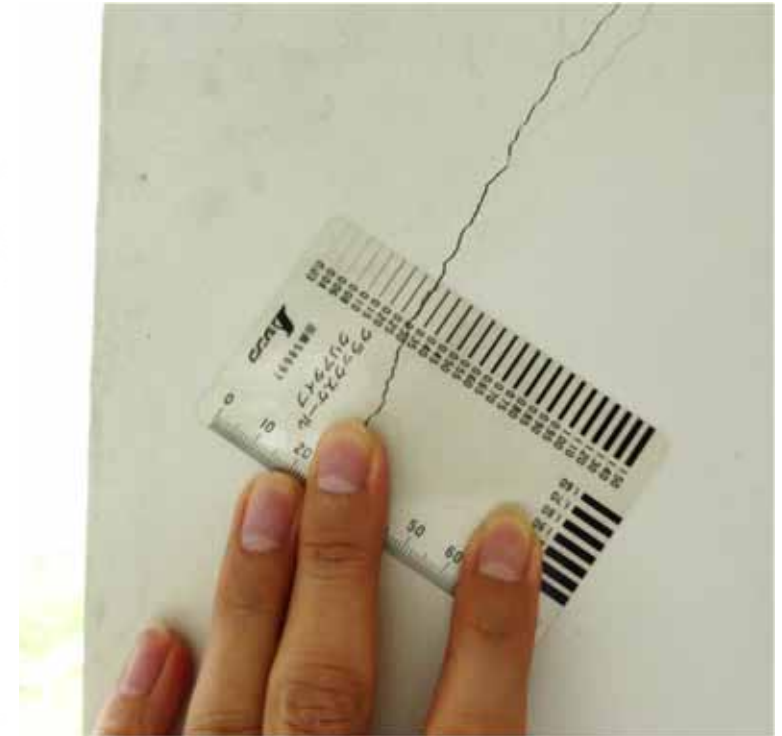
➡ 結構大変な作業 | It's a hard work...

耐震診断 | Investigation of Seismic Performance

✓ひび割れ調査 | Crack condition



Sketch of crack pattern



Measurement of crack width by crack scale

➡ 結構大変な作業 | It's a hard work...

文化財のように
複雑な建物の場合どうするか？

If the building has complicated structure,
what should we do?



Airship Hangar in Augusta, Italy

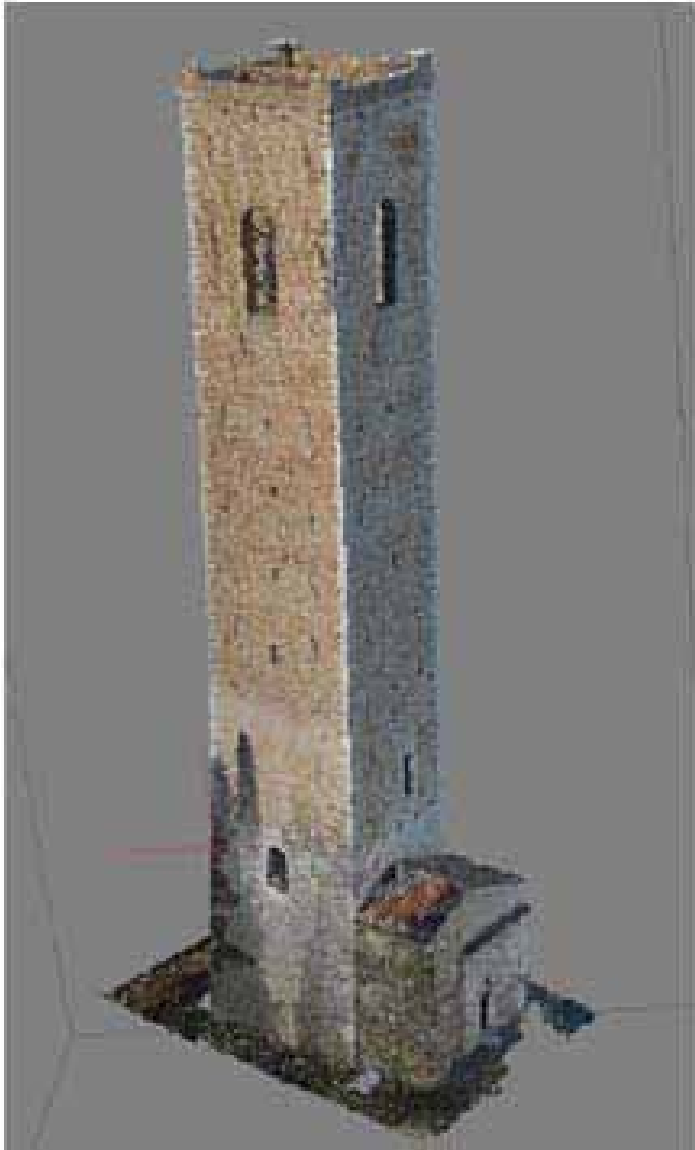


旧城山小学校（被爆遺構），長崎

DX技術の活用
～形状の計測～

DX for Investigation of Building Structures
Evaluation of Shape

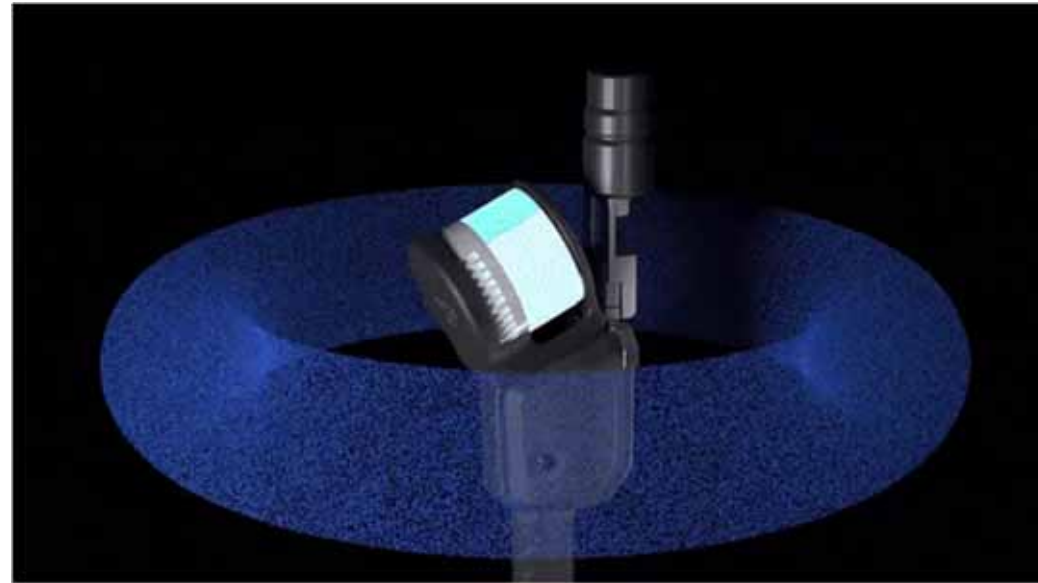
3Dスキャナによる計測 | 3D Scan for Structures



FARO社 (<https://www.faro.com/ja-JP/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners/>)

mm単位の精度で形状・凹凸・表面色を計測可能

3Dスキャナによる計測 | 3D Scan for Structures



LiDARカメラ



XGRIDS社 (<https://xgrids.com/>)

mm単位の精度で形状・凹凸・表面色を計測可能

3Dスキャナによる計測 | 3D Scan for Structures



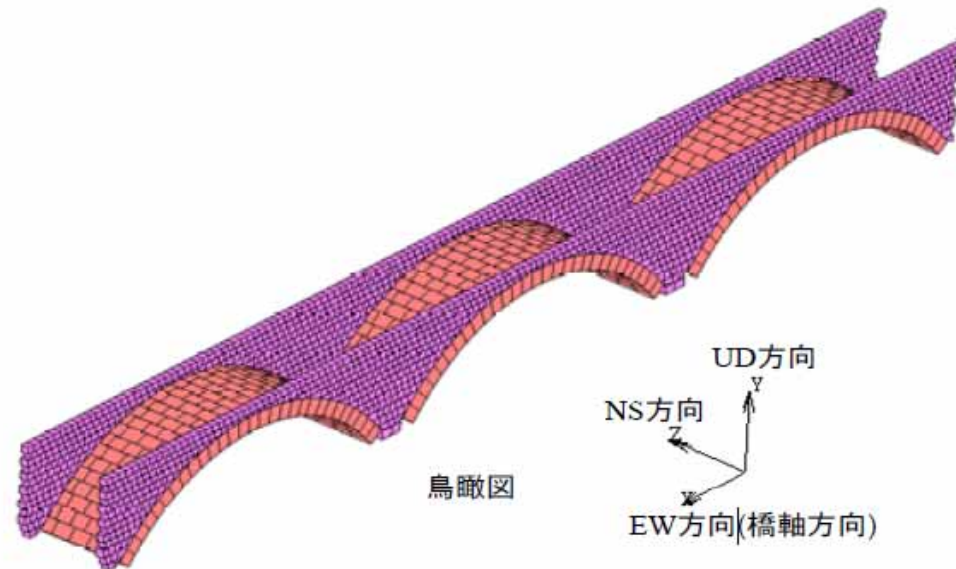
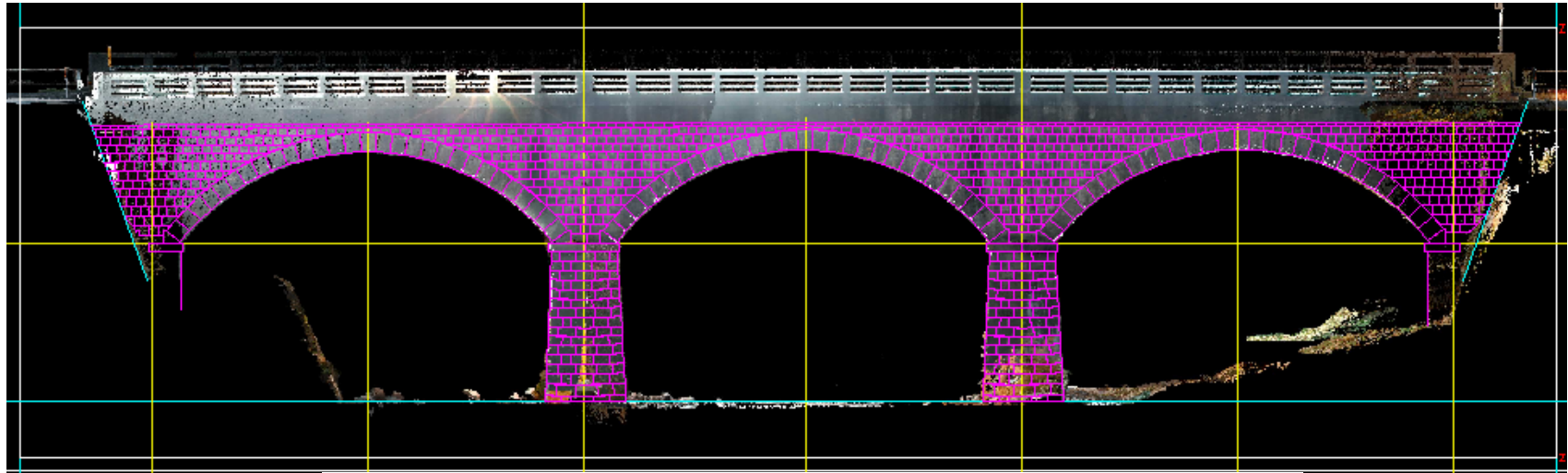
3Dスキャナによる計測 | 3D Scan for Structures



3Dスキャナによる計測 | 3D Scan for Structures

ポストプロセスにより構造モデル化も可能 (ポストプロセスが一番の鍵)

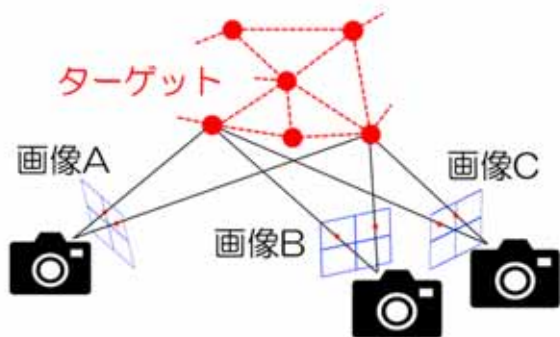
It is useful for modelling the structure



SfMによる計測 | SfM for constructing 3D model

Structure from Motion (SfM)

複数視点で撮影した画像群から3D形状を復元するコンピュータビジョン分野の技術



カメラの移動



2023年2月 E-defense実験

平面モデル構築には、MATLAB関数「`pcfitplane`」を使用
RANSACアルゴリズムにM推定を加えたMSACアルゴリズムによって平面を検出

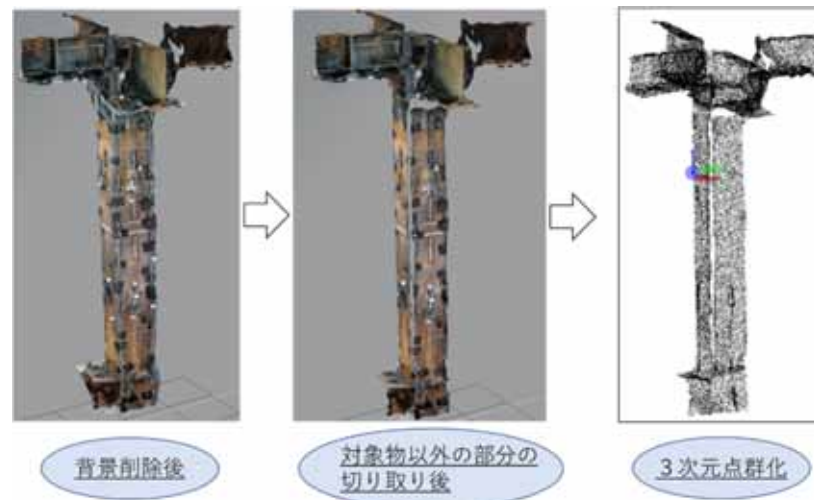
RANSAC: ランダムにいくつかサンプリングした中で **パラメータを推定** する処理を繰り返し、
その中で最良の推定結果を出力する方法

MSAC: 各点に重みを設定し、その重みに応じてパラメータを推定する手法
残差の大きい点の重みを低く設定することで推定精度を向上



最大許容距離・最大角距離・検出参考ベクトルを設定し、柱平面を検出

関心領域を設定することで探索範囲を絞り
最大許容距離・最大角距離・参考ベクトルを設定して梁平面を検出

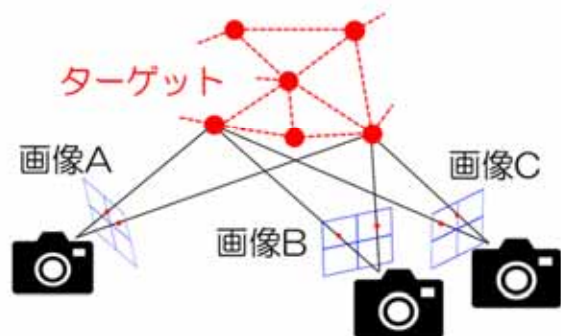


JMA Kobe100%加振 → 柱梁法線なす角差分: 1.39度

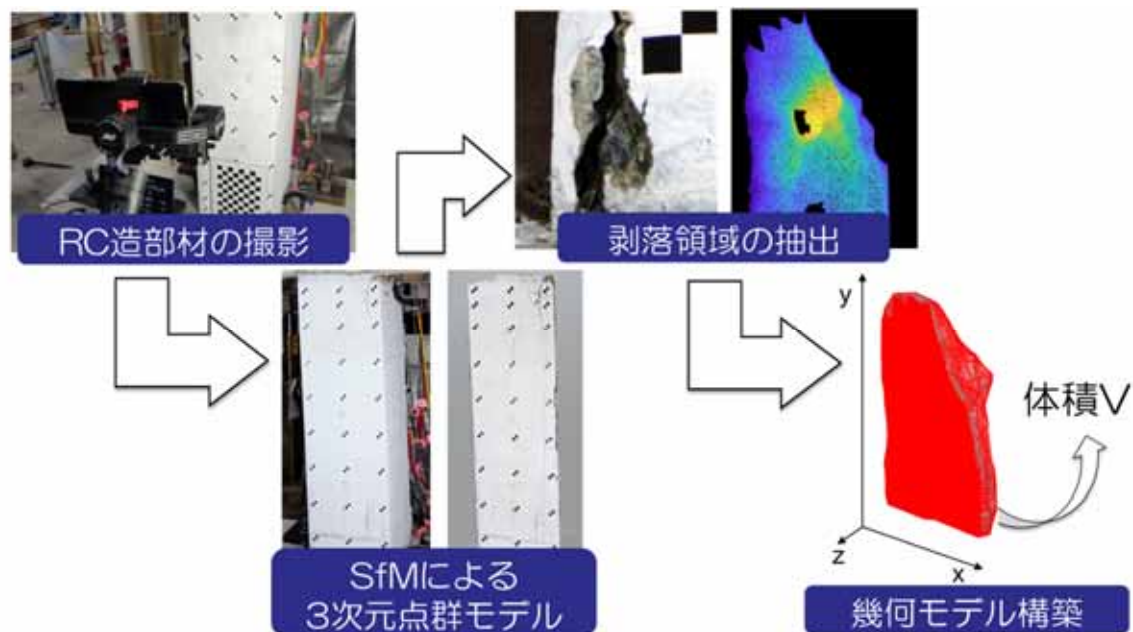
SfMによる計測 | SfM for constructing 3D model

Structure from Motion (SfM)

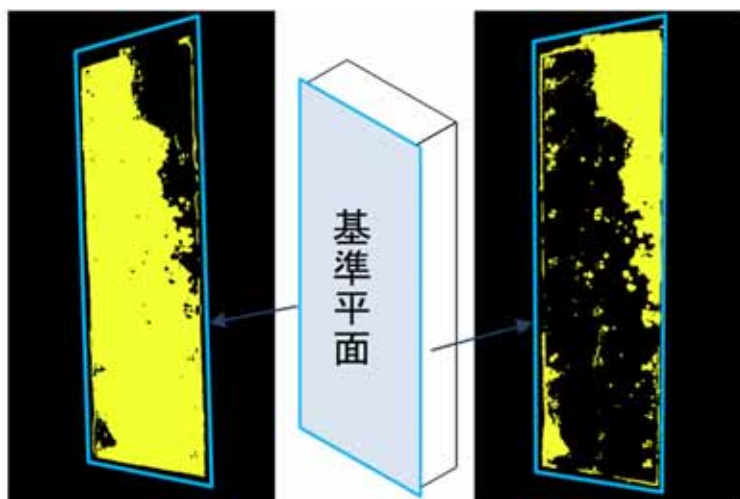
複数視点で撮影した画像群から3D形状を復元するコンピュータビジョン分野の技術



カメラの移動

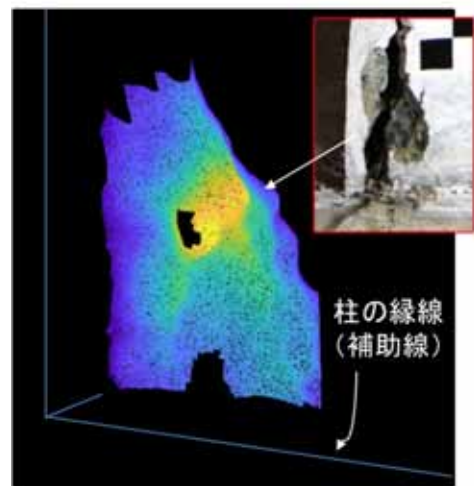


2022年11月 秋田県立大実験

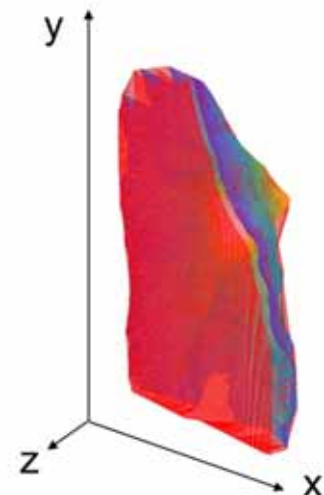


基準平面を含む点群

剥落領域を含む点群



点群から基準平面を推定し、体積計測用の点群モデル剥落領域を抽出

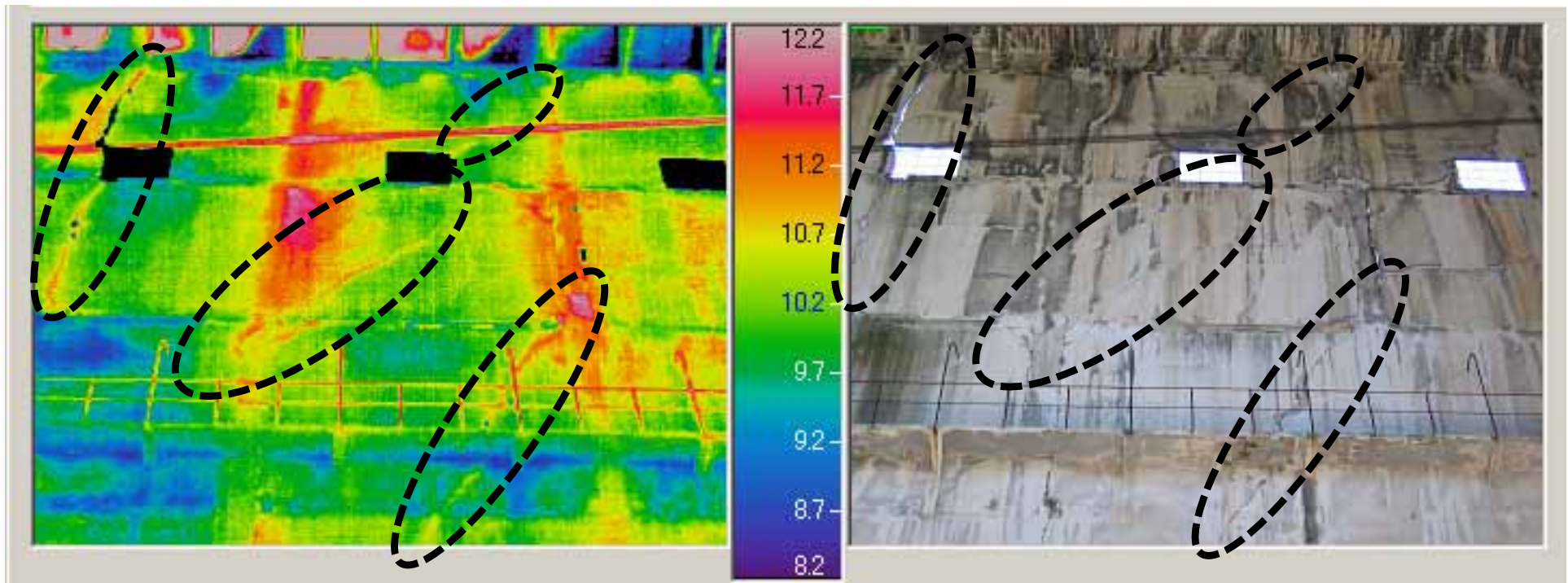


(Tsuka, Takahashi et.al, 2024)

DX技術の活用
～損傷の計測～

DX for Investigation of Building Structures
Evaluation of Damage

サーモグラフィ計測 | Crack detect by thermography



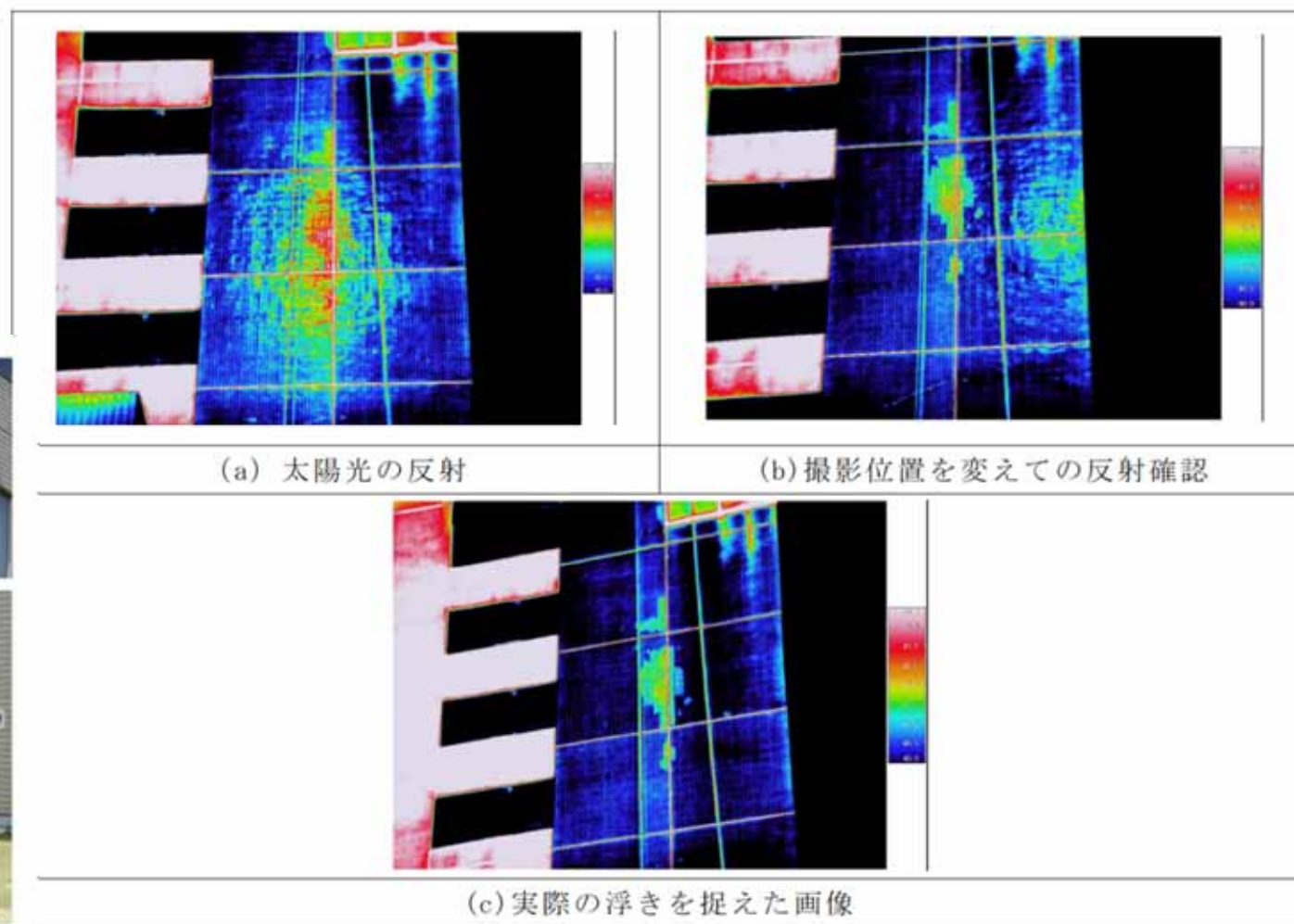
室内外の温度差を利用

ひび割れが高温部として浮き出る
(名古屋市立大学) 青木孝義 教授より

サーモグラフィ計測 with UAV | thermography w/z UAV

令和4年1月18日： 建築基準法施行規則の一部改正

→建築物の定期調査報告における調査方法としてUAVによる赤外線調査が明記



ドローンによる建築物の調査業務

- ①建築物の情報取得と調査計画
- ②建築物の調査の安全管理
- ③現場でのテレメトリー監視
- ④建築物の変状の撮影指示
- ⑤建築物の調査結果のとりまとめ*



建築ドローン
飛行管理責任者



ドローン
操縦者

図 3.5-3 太陽光の反射の影響

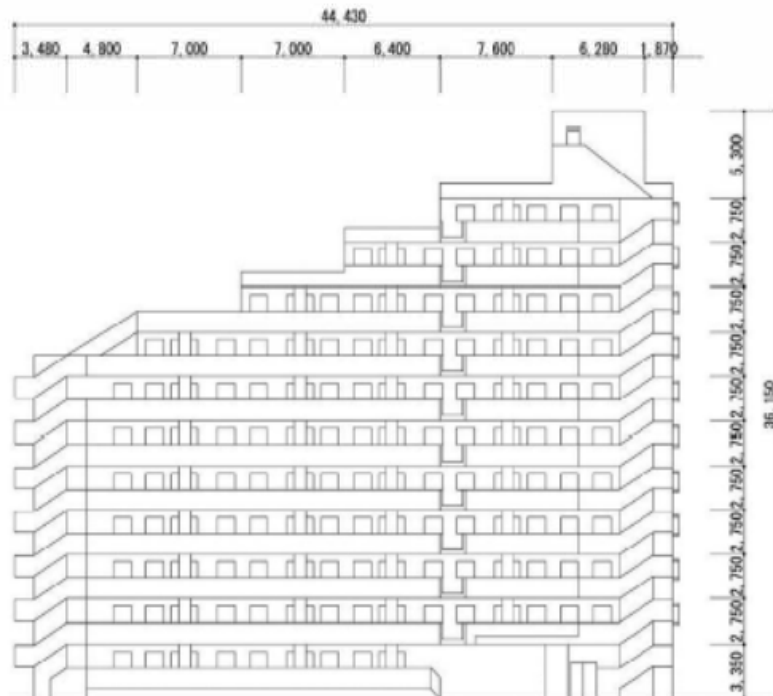
サーモグラフィ計測 with UAV | thermography w/z UAV

赤外線装置を搭載したドローンによる外壁検査のコスト削減効果 国土交通省

○専門家による調査における関係事業者による診断費用見積もりの分析によれば、打診検査と比べて赤外線装置を搭載したドローンによる外壁検査は、検査費用が約4割削減される可能性があるとして試算されている。

モデル建物

- 郊外にある外装タイル張りのRC造11階建マンション
- 対象となる外壁面積：約3,000m²



北側立面図

図 診断費用の見積もりを依頼した建物立面図

検査費用

- 打診検査：
総費用平均1,299円（外壁1m²あたり）
※事業者による見積もりの平均額
 - 赤外線装置を搭載したドローンによる外壁検査：
総費用平均 732円（外壁1m²あたり）
※事業者による見積もりの平均額
- 732円 / 1,299円 ≒ 0.56 **削減率 約4割**

注1) ドローンの飛行にかかる人件費等は、地上に設置して行う赤外線装置法の人件費等と同額と想定

注2) 削減率は「日本建築学会技術報告集第21巻第48号,449-454,2015年6月」をもとに、建築研究所において試算

(余談) UAVの市場規模予測 | UAV Market Growth Forecast

(hundred thousand dollars)

(億円)

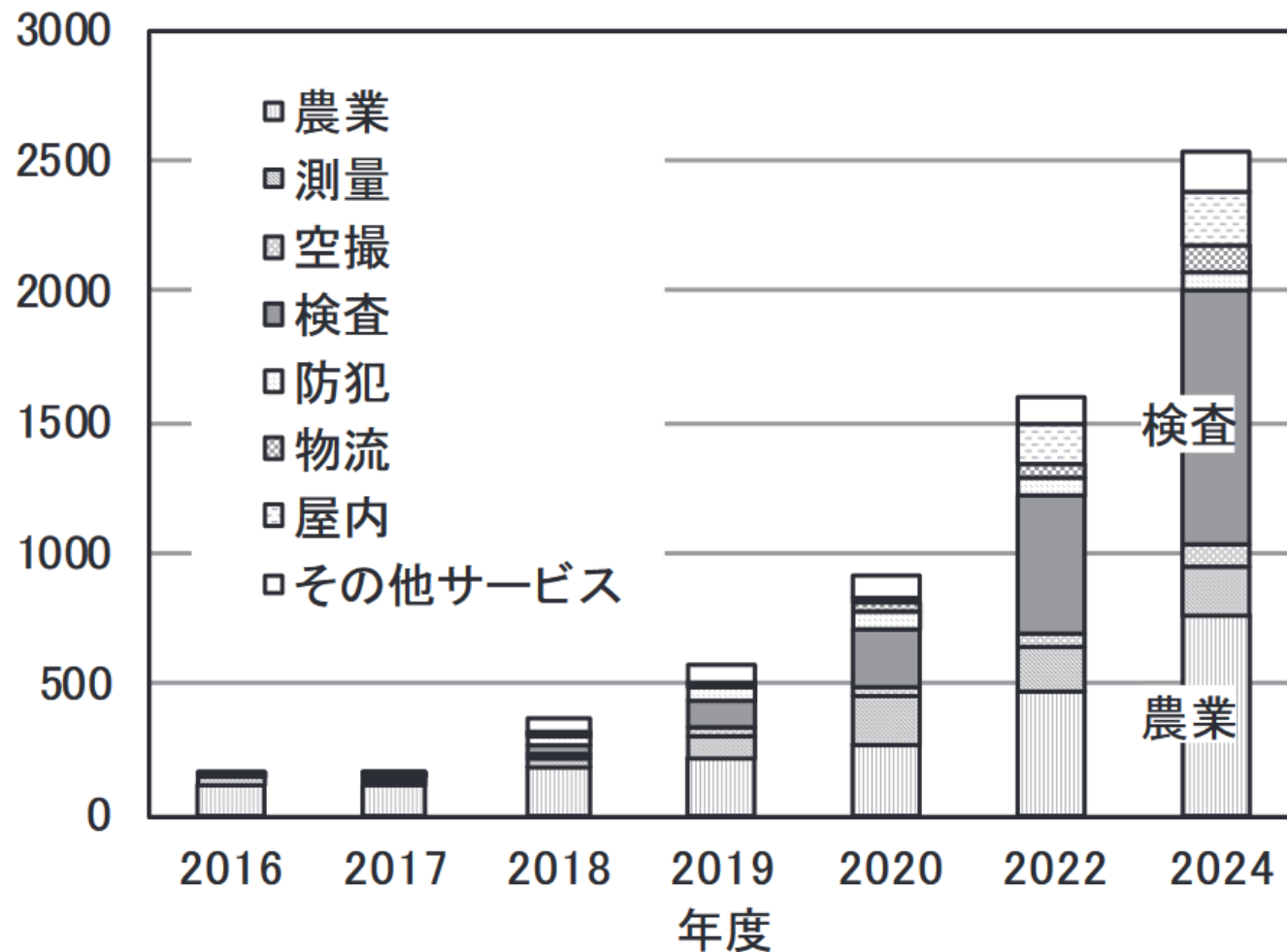


図1 ドローンサービス市場の分野別市場規模 ¹⁾

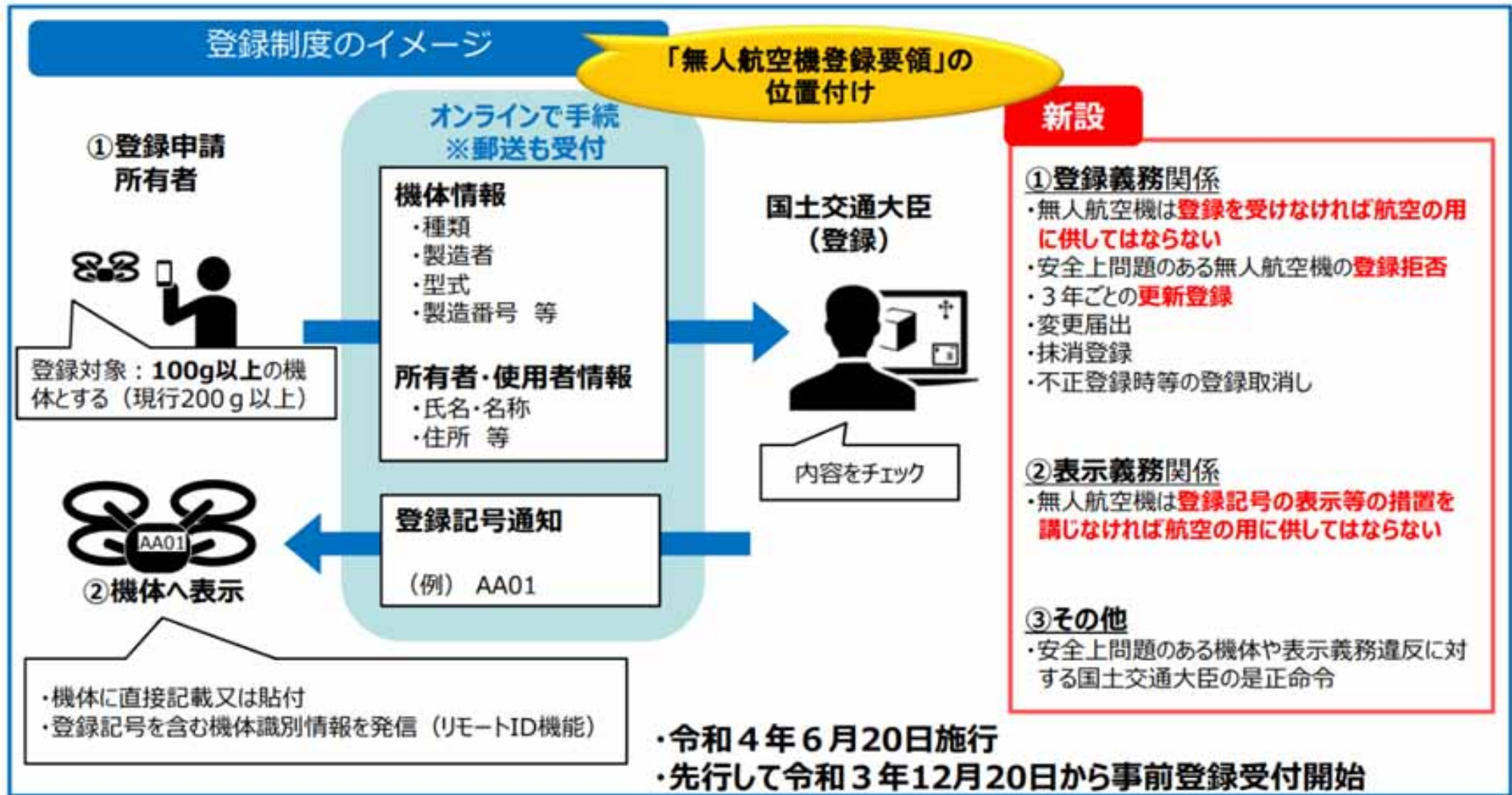
1) 春原ら:株式会社CLUEドローンビジネス調査報告書2018, インプレス総合研究所, 2018

(余談) UAVを用いた調査 | Damage Investigation by UAV

[参考]無人航空機の飛行レベルのイメージ

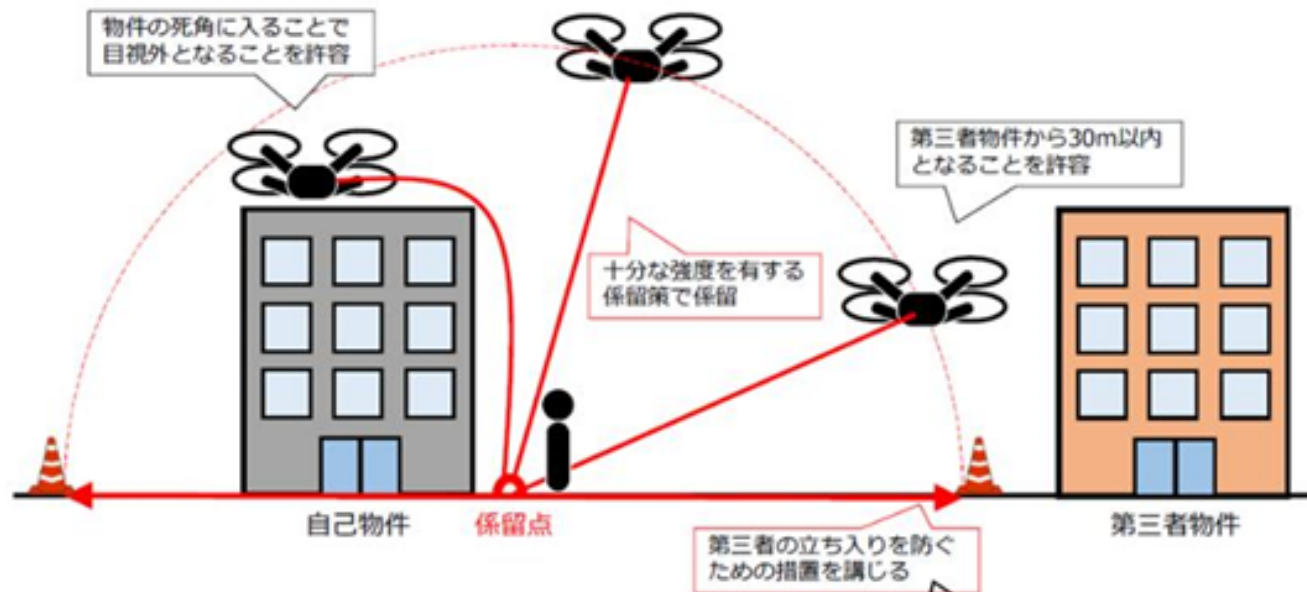


(余談) UAVを用いた調査 | Damage Investigation by UAV



(余談) UAVを用いた調査 | Damage Investigation by UAV

- 十分な強度を有する紐等（30m以内）で係留した飛行で、飛行可能な範囲内への第三者の立入管理等の措置を行えば一部の許可・承認が不要になります。

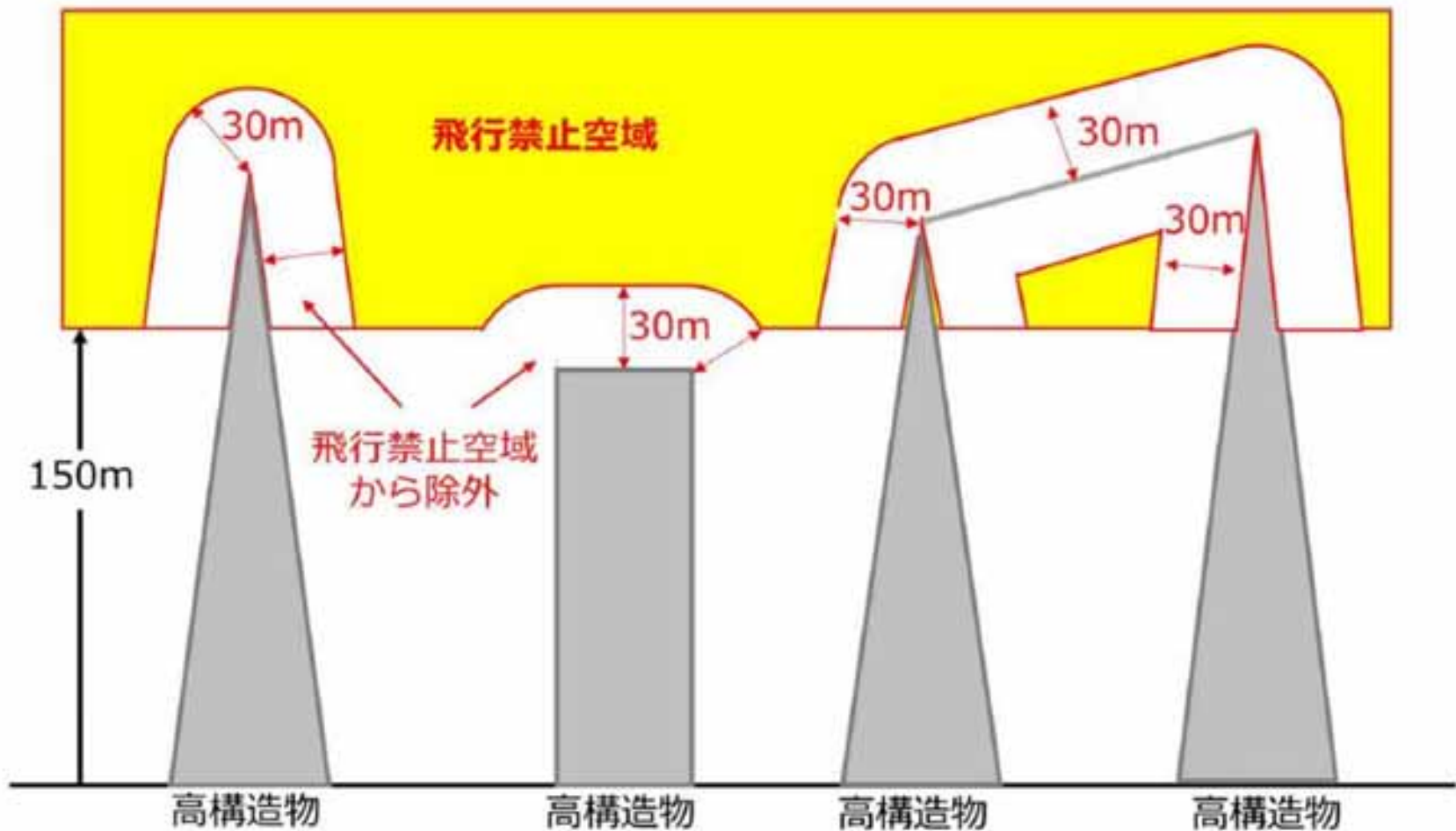


許可承認不要：DIDにおける飛行、夜間飛行、目視外飛行、第三者から30m以内の飛行及び物件投下

許可承認必要：空港等周辺、緊急用務空域、150m以上上空の飛行、イベント上空での飛行及び危険物輸送

- 関係者以外の立ち入りを制限する旨の看板、コーン等による表示
- 補助者による監視及び口頭警告等

(余談) UAVを用いた調査 | Damage Investigation by UAV



画像計測 with UAV | Digital image measurement w/z UAV

①完全自律制御型ドローンと飛行プランの開発

【建築用ドローン】

高解像度
カメラ等

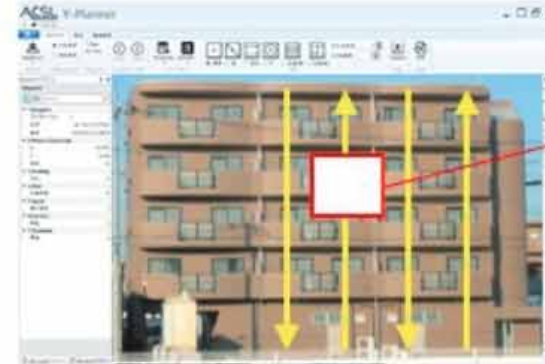


空間認識用
ステレオカメラ



2眼カメラにより「両眼視差」
を捉え、空間を三次元認識

【飛行プラン作成ソフトウェア】



分析

任意の測定位置を指定すると、ドローンが自動的にその測定位置へと移動

(フライトログイメージ)

点検対象物の写真や図面を基に、
飛行プランを作成可能とする。

互換性を付与

②ドローン搭載カメラの撮影技術の開発

③不具合情報の自動検出の開発



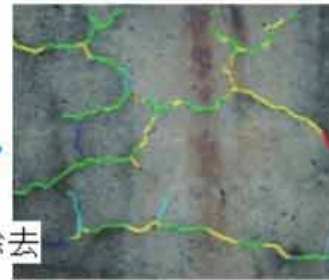
(撮影画像イメージ)



(解析画像イメージ)



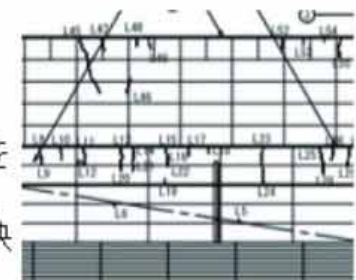
ノイズを除去



(抽出画像イメージ)



抽出画像を
自動的に
CADへ反映



(CADイメージ)

UAVの利用そのものに注目がいきがちだが、画像解析技術のほうが、建物の損傷を自動検出する鍵となる (サーモグラフィ画像であれ、可視光画像であれ)

画像計測 with UAV | Digital image measurement w/z UAV

	Photo from the ground				Photo from UAV		
比較項目	②地上から撮影				③ドローンによる撮影		
撮影範囲(※)	<p>Invisible area 撮影できなかった範囲</p>						
	南面	東面	西面	北面	南面	東面	西面
撮影範囲	81% (撮影距離: 7.5~17m)				100% (撮影距離: 10m)		
窓枠の見える方	2階	4階	6階	2階	4階	6階	
	カメラ諸元	カメラ: EOS60D(Cannon)			カメラ: α6000(Sony)		

Shooting distance depends on the surrounding environment

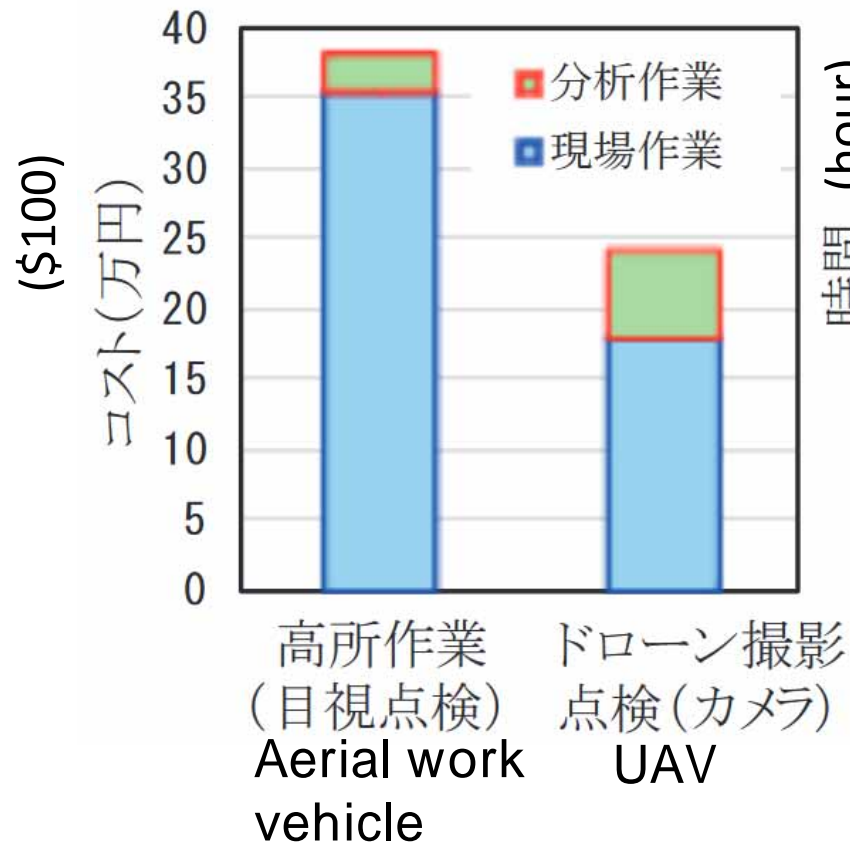
Keep the shooting distance

Difficulty for parallax correction

画像計測 with UAV | Digital image measurement w/z UAV

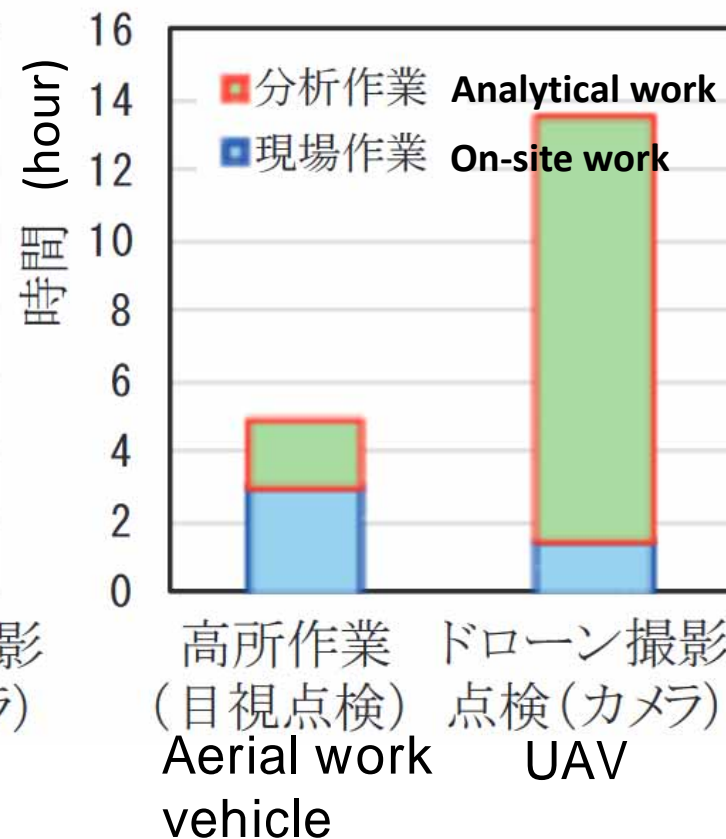
(a) Comparison of Cost

(a)コスト比較



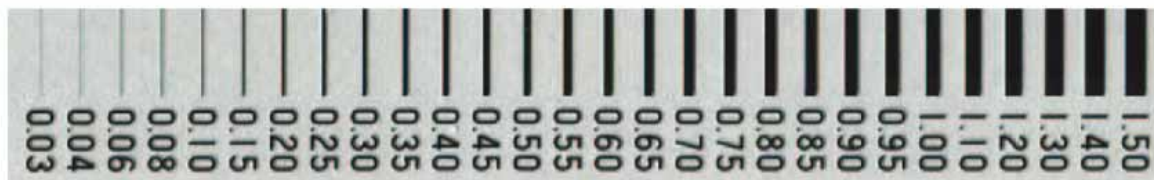
(b) Comparison of Time

(b)作業時間比較



Using UAV reduces the cost & time for on-site works, but increases the cost & time for analytical works.

カメラの所要性能 | Required Performance of UAV camera



クラックスケールをスキャナーで読み込んだ元画像

Crack scale by digital scan



1億画素カメラの場合(撮影距離5mの場合)

100M Pixel camera from 5m away



2000万画素の場合(撮影距離5mの場合)

20M Pixel camera from 5m away

カメラの所要性能 | Required Performance of UAV camera



Observed
crack width
by human

by 100M pixel camera

by 20M pixel camera

対象部材, 位置	人間の目視 調査による ひび割れ幅 [mm]	ドローン調査 (1億画素) によるひび割れ幅[mm]				ドローン調査 (2000万画素) によるひび割れ幅[mm]			
		5m	10m	15m	20m	5m	10m	15m	20m
1階の腰壁, W	0.7	0.6	0.6	×	×	×	×	×	×
1階の柱, X	0.4	0.3	×	×	×	×	×	×	×
1階の腰壁, Y	2.5	1.7	1.4	1	0.5	0.9	×	×	×
1階の腰壁, Z	0.65	1	0.9	×	×	×	×	×	×
		5m away	10m away	15m away	20m away	5m away	10m away	15m away	20m away

It implies that using the 100M pixel camera from 5m away is required to detect the crack damage. But it seems to be too expensive to employ this technique...

A.I.画像計測 | Digital image-based measurement

✓ひび割れ領域検出 | Using Semantic Segmentation



検出精度 : 99.5%

Detection accuracy

検出精度 : 99.8%

Detection accuracy

検出精度 : 99.7%

Detection accuracy

(Chida and Takahashi, 2019)

A.I.処理に適した撮影環境

Shooting environment for A.I. processing

It's too old

要求される撮影環境 (鉄道総研, 2007)

Required Shooting Environment (RTRI, 2007)

項目	留意点
カメラ	有効画素数約500万画素以上
画角	0.2mm未満のひび割れを対象とする場合は1m×1m程度
撮影距離	工学ズームにより画角を確保する。一般に3倍程度の工学ズーム機能を備えたデジタルカメラを利用する場合は、距離を10m以内にする事で条件を満足する。
撮影角度	正面からの角度が45度以内を標準
明るさ (照度)	照度は100ルクス以上 フラッシュは使用しない

Nowadays, 5M pixel is too poor.

It depends on the assumption of readable limit as 0.5pixel crack. It is not realistic in on-site survey.

Less than 10m with x3 zoom lens. Lens aberration is not negligible.

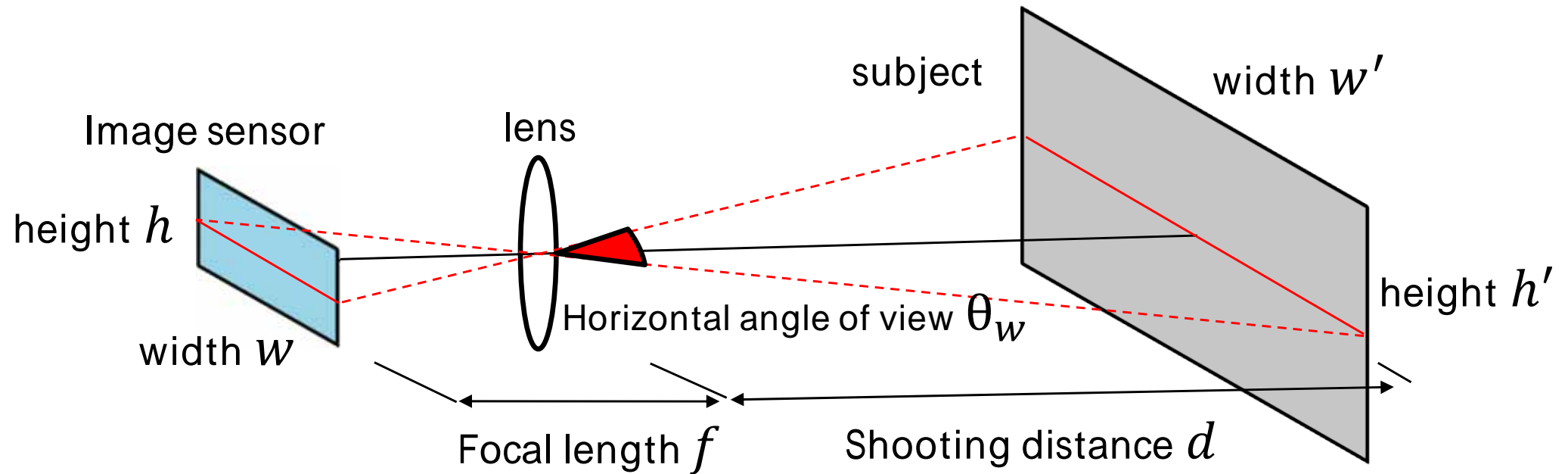
UAV can stay in front of detection area.

More than 100lx with no flash light

We need to discuss the required shooting environment for damage detection with recent optical device and A.I. processing .

A.I.処理に適した撮影環境

Shooting environment for A.I. processing



A.I.処理に適した撮影環境 | Shooting environment for A.I. processing



Items	Parameters
Camera Resolution	12M pixel, 20M pixel, 50.6 M pixel
Focal length	$f=24\text{mm}$ (wide-angle lens), $f=50\text{mm}$ (standard lens), $f=200\text{mm}$ (telephoto lens)
Shooting distance	0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m
Illuminance [lx]	75, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500

A.I.処理に適した撮影環境 | Shooting environment for A.I. processing

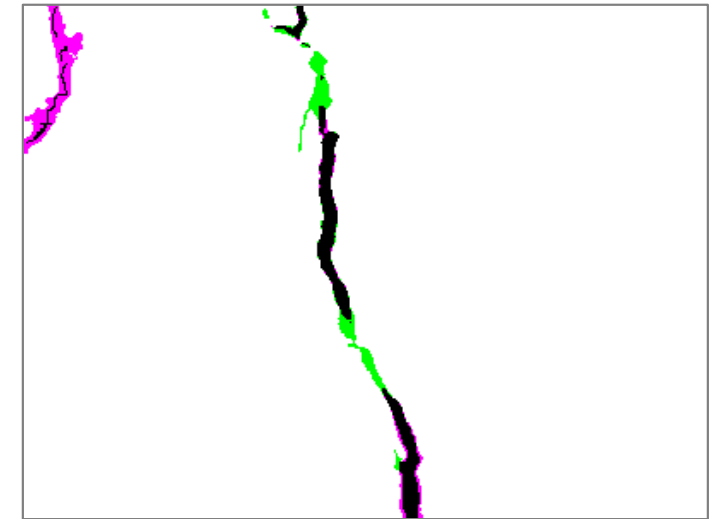
Human Detect
(Labeled Image)
人間の判断



A.I. Detect
(Prediction Image)
AIの判断



検出の正誤画像



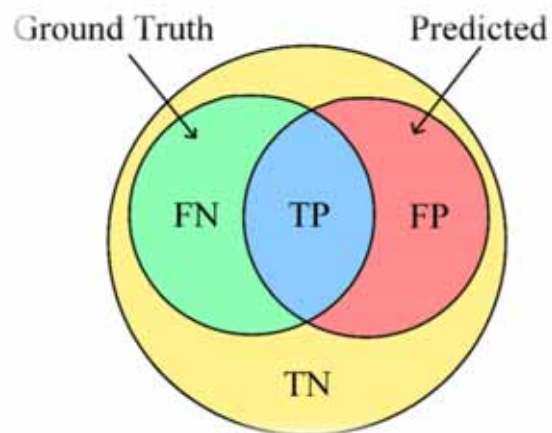
$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

再現率
(正に対する正答率)

TP: True Positive
FN: False Negative

➡ Select the shooting environment indicating the Recall > 90%

A.I.検出器の精度評価に関する参考資料



TP : True Positive
FP : False Positive

TN : True Negative
FN : False Negative

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100 \quad [\%]$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \times 100 \quad [\%]$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FN} + \text{FP}} \times 100 \quad [\%]$$

$$\text{IoU} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN} + \text{FP}} \times 100 \quad [\%]$$

Recall(再現率): 値が100%に近いほど検出漏れが少ない

Precision(適合率): 値が100%に近いほど誤検出が少ない

Accuracy(正解率): 値が100%に近いほど結果が総合的に正しい

IoU(Intersection Of Union): 値が100%に近いほど結果が正しい(**領域分割の評価指標**)

(※ AccuracyからTNを除いた値でGround Truthの領域が小さいほど小さくなりやすい)

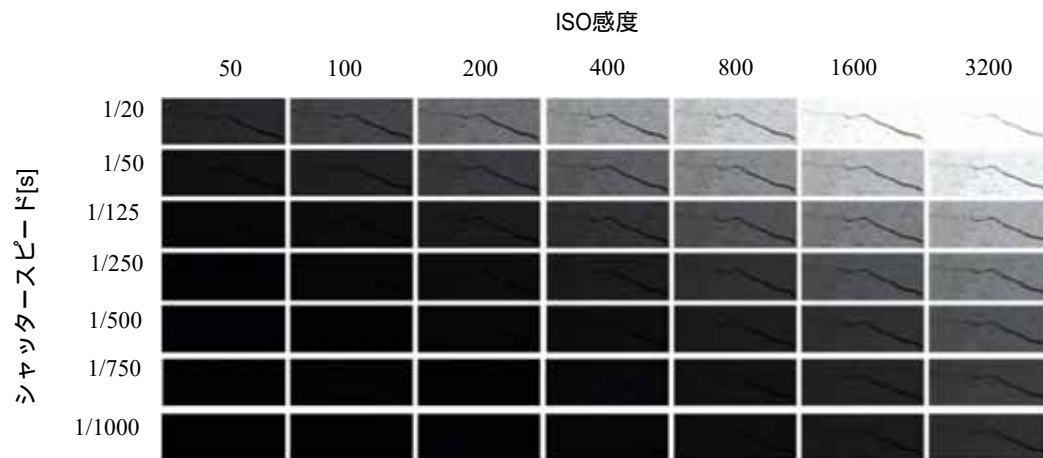
物体検出の評価指標

表-3 必要な撮影環境条件（損傷度 I）

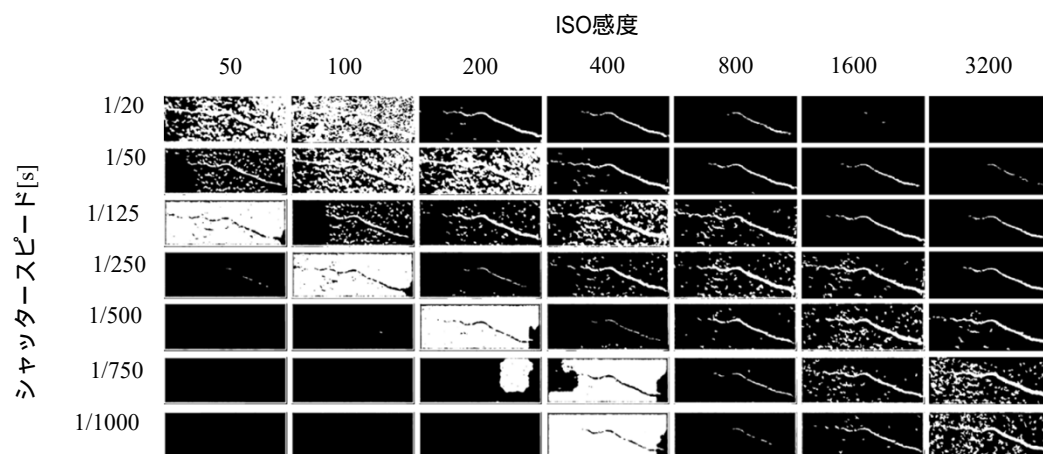
項目	留意点
カメラ	有効画素数約2000万画素以上
画角	広角レンズ（焦点距離24mm程度）の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 標準レンズ（焦点距離50mm程度）の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 望遠レンズ（焦点距離200mm程度）の場合 0.18m×0.12m以内を確保する
撮影距離	光学ズームを使用しない場合、距離を1m以内にすることで条件を満足する（広角レンズ使用時）
撮影角度	正対（撮影角度0°）を標準とする
明るさ （照度）	照度は500ルクス以上 フラッシュは使用しない

A.I.処理に適した撮影環境

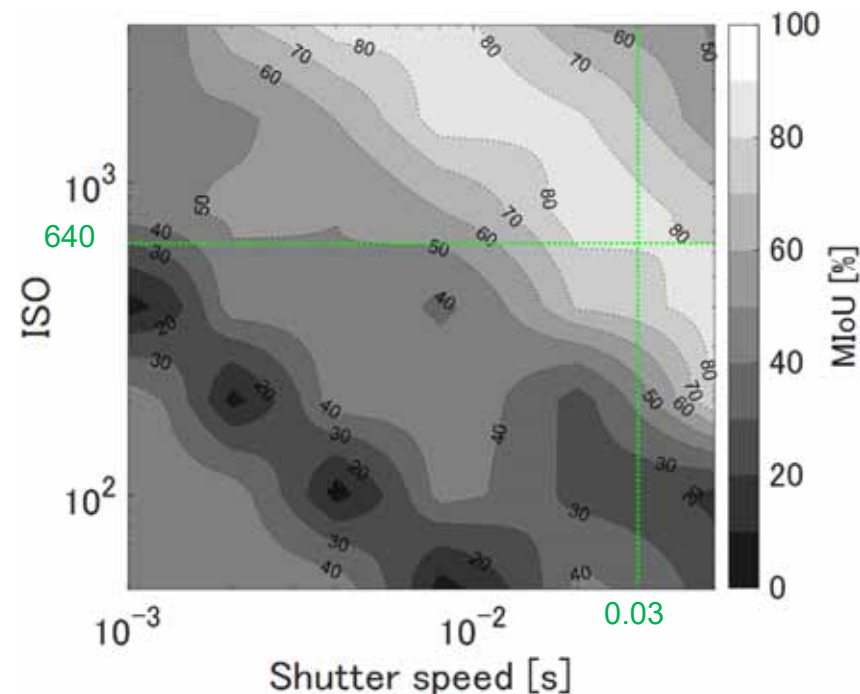
Shooting environment for A.I. processing



(a) 各露出設定により取得した検知対象画像例



(b) 各露出設定に対する検知結果例



- ・スマートフォンのオート露出機能により、AIに適した露出を満足する。
- ・建材背景画像ヒストグラム調整を事前に行っておくとAI損傷検出精度が向上する。

…AI画像認識についての詳細は、次の特別講演をご聴講ください。

DX技術の導入が長寿命化に
どのように活かされるのか

How DX is used to extend the life of buildings

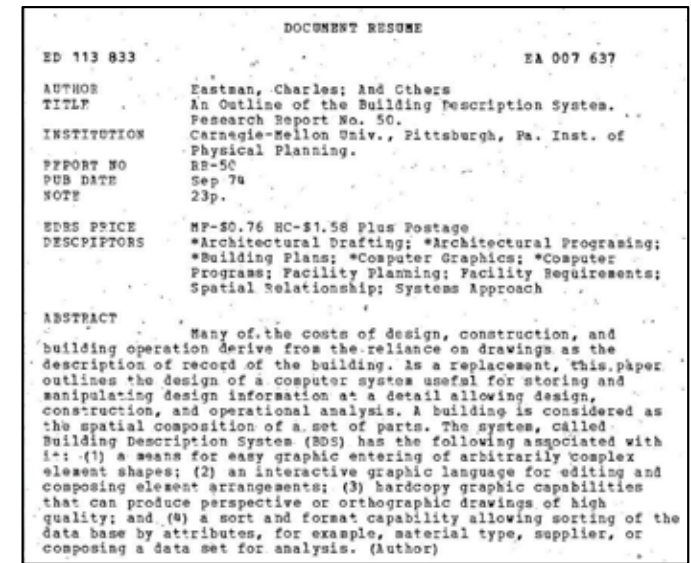
建設分野におけるDX化の歴史 | DX in Construction field

○ BIM (Building Information Modeling)

→ジョージア工科大学 Charles M. Eastman教授が
1974年に概念を提唱したとされる

○ 「情報化施工推進戦略」 (国交省：2008年)

→情報化施工の考え方は、1970年代後半からあるが、
2008年になって国交省が建設業へのICT導入を推進
すべくロードマップを提示した



○ CIM (Construction Information Modeling/Management)

→国交省が建設業務の効率化を目的として提言 (2012年)

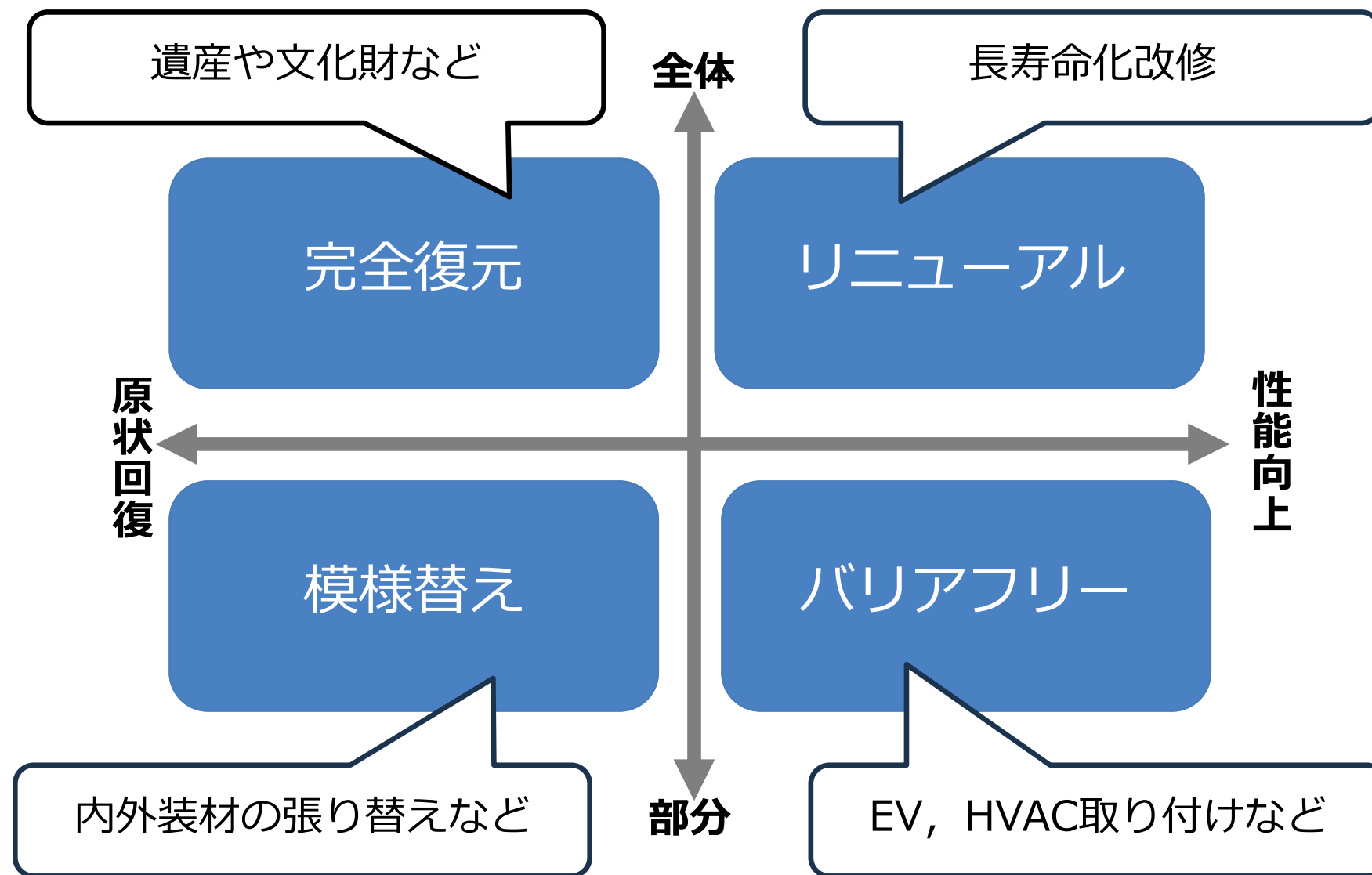
○ i-construction (国交省：2015年12月)

→「ICT技術の全面的な活用」により建設現場の生産性向上を目指す取組み
→ 2025年を目途に建設現場の生産性を2割向上することを数値目標とした

○ i-construction 2.0 (国交省：2024年4月)

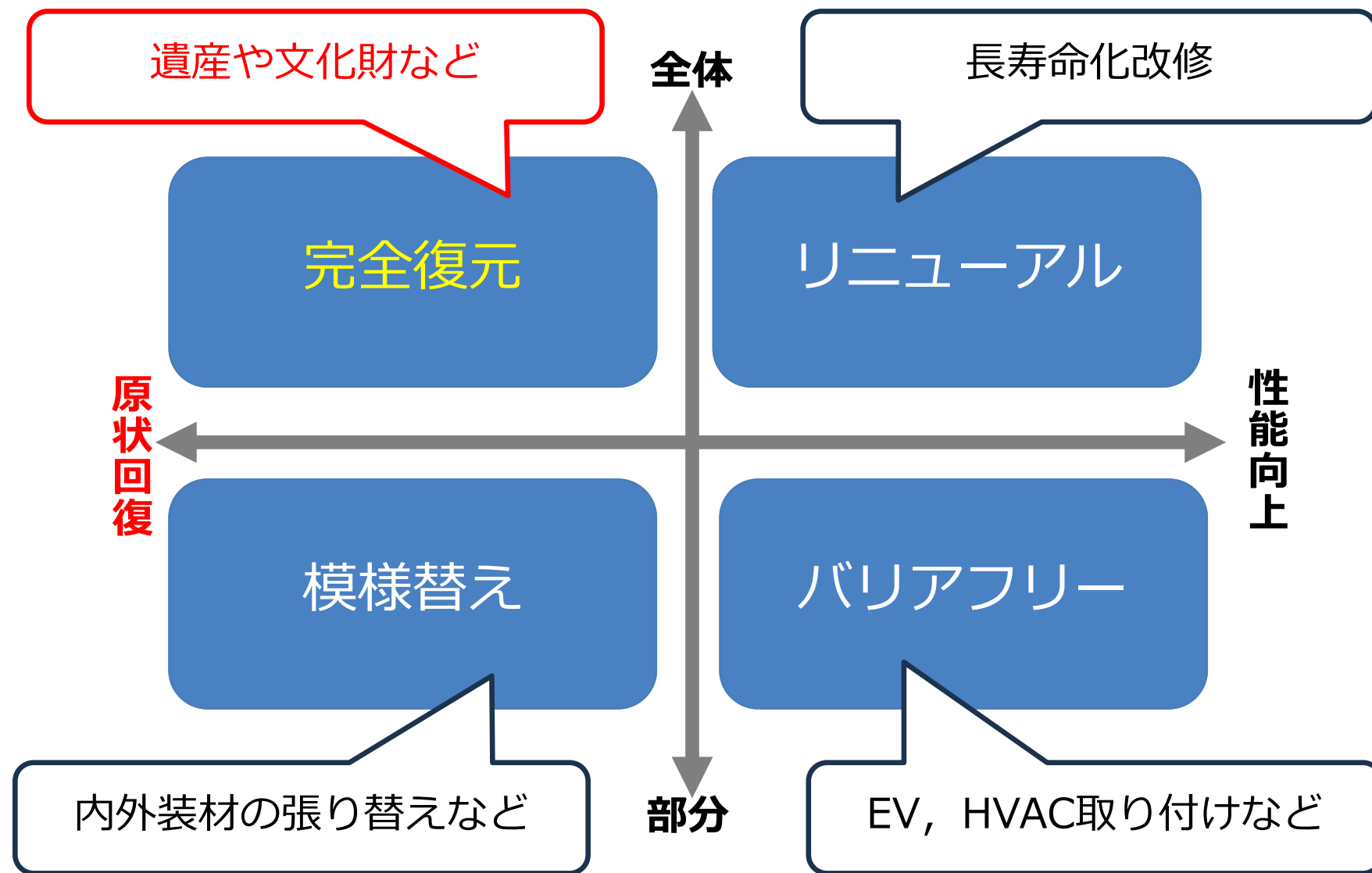
→2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、生産性1.5倍向上を目指す
→ 「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、
「施工管理のオートメーション化」が3本の柱

DX化による効果 | DX in Construction field



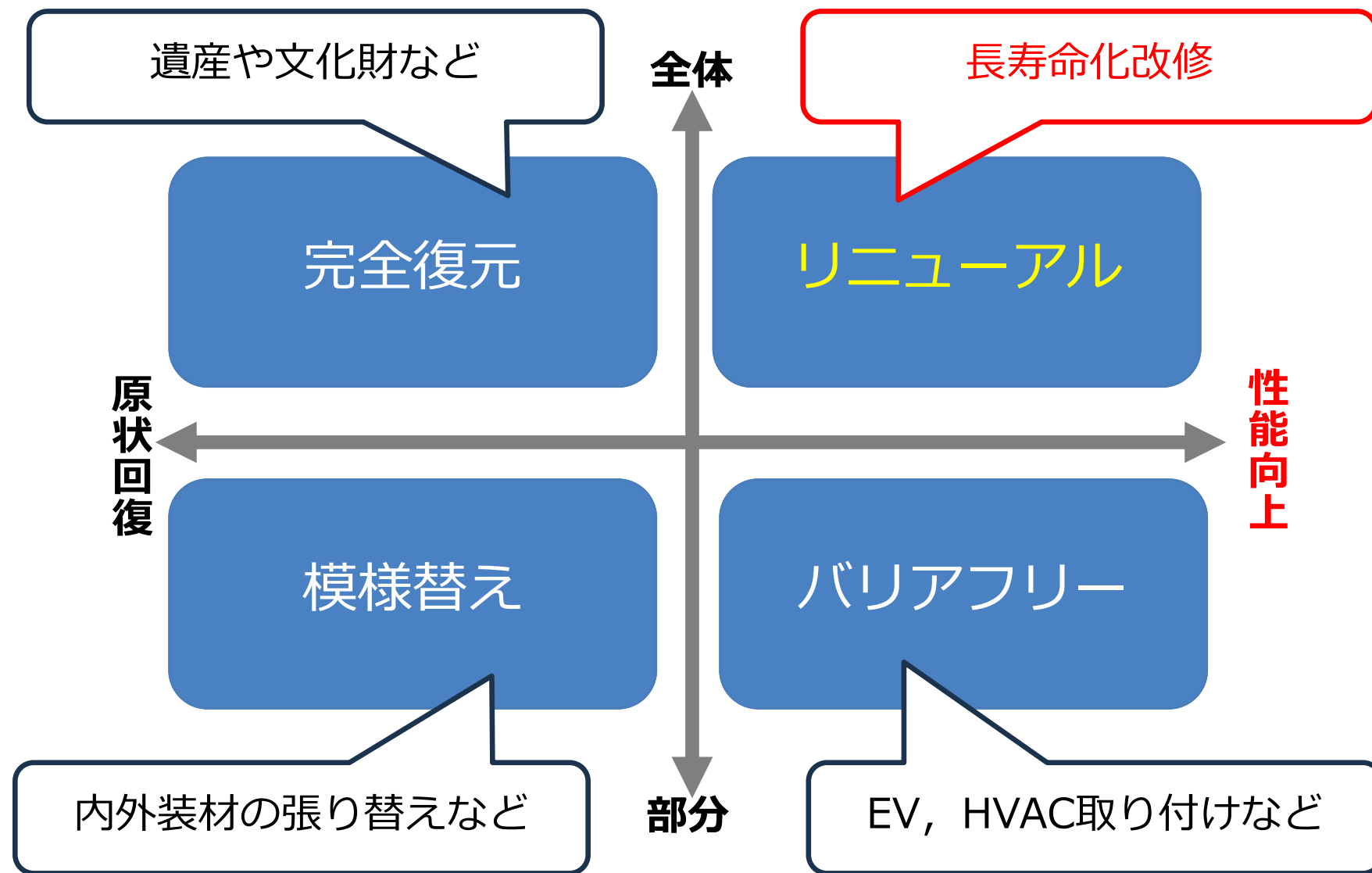
- ✓ 精緻な情報連携に基づく生産性向上 → 手戻りの少ない既存建物の現状把握
- ✓ 工期短縮によるコスト削減 → より高性能な建物への改修促進
- ✓ 合理的な情報提供による顧客満足度向上 → Data-drivenな意思決定指標の提示

DX化による効果 | DX in Construction field



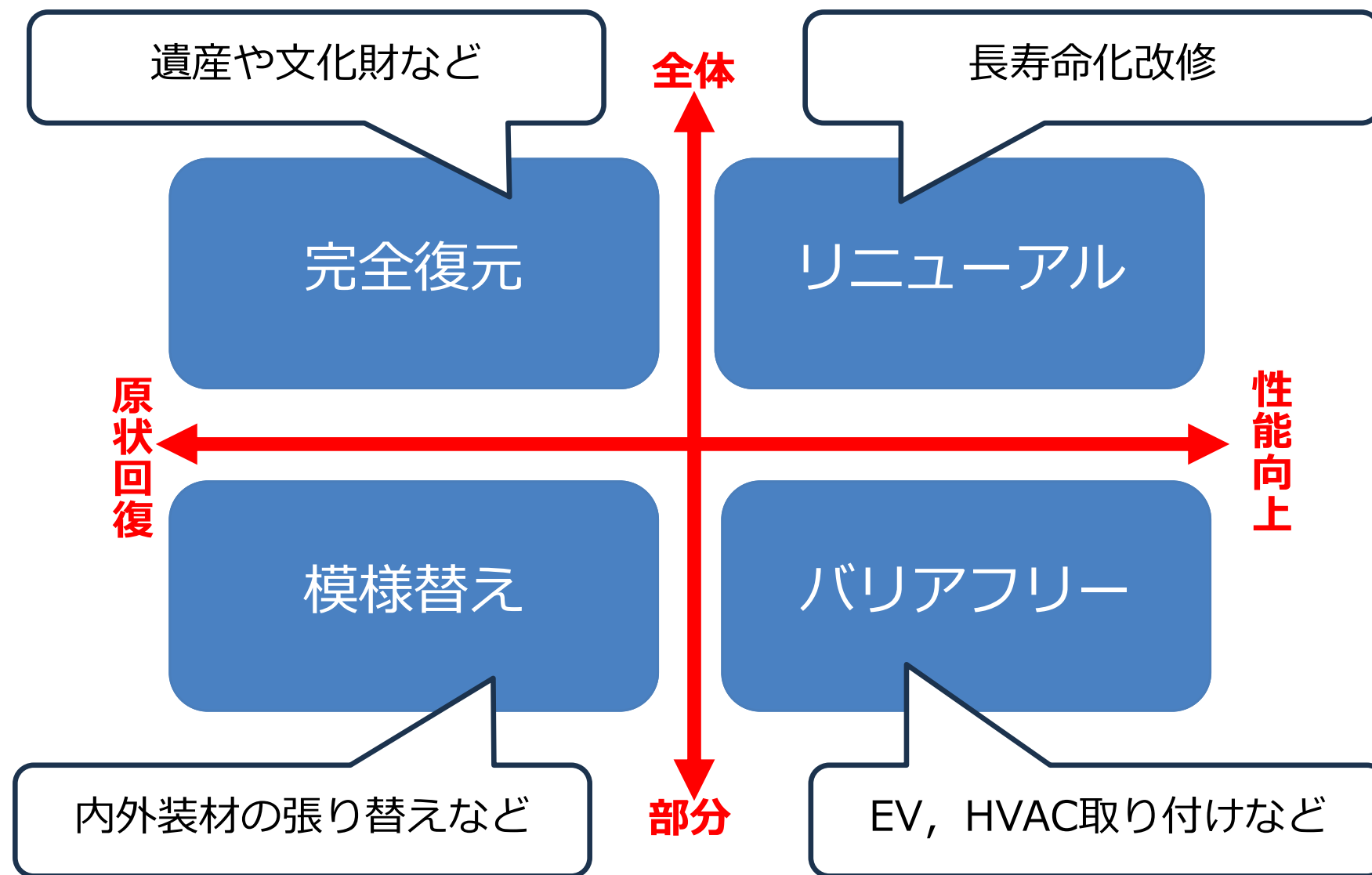
- ✓ 精緻な情報連携に基づく生産性向上 → 手戻りの少ない既存建物の現状把握
- ✓ 工期短縮によるコスト削減 → より高性能な建物への改修促進
- ✓ 合理的な情報提供による顧客満足度向上 → Data-drivenな意思決定指標の提示

DX化による効果 | DX in Construction field



- ✓ 精緻な情報連携に基づく生産性向上 → 手戻りの少ない既存建物の現状把握
- ✓ 工期短縮によるコスト削減 → より高性能な建物への改修促進
- ✓ 合理的な情報提供による顧客満足度向上 → Data-drivenな意思決定指標の提示

DX化による効果 | DX in Construction field



- ✓ 精緻な情報連携に基づく生産性向上 → 手戻りの少ない既存建物の現状把握
- ✓ 工期短縮によるコスト削減 → より高性能な建物への改修促進
- ✓ 合理的な情報提供による顧客満足度向上 → **Data-drivenな意思決定指標の提示**

改修を控えた建築主への情報提供の一案

～歴史的建造物の経済価値評価と最適補修工法～

Informing building owners about
upcoming renovations

~Optimal repair methods for historic buildings
according to its economical assessment~



2015/01/15 神奈川新聞



2017/01/26 熊本日日新聞

耐震強度不足を理由にしつつ、経済的事情により取り壊されてしまう事例が多数



DX化により「調査時間減→コスト削減」および「広範な情報連携→意思決定を支援する情報提供」が可能になり、改修への道筋がひらける。

建築物の価値評価手法 | Economic value evaluation of building

(1) 収益用建築物としての価値評価

収益用建築物の価値を評価するDCF (Discounted Cash Flow) 法に基づき供用期間中の収益の総和を収益用建築物の価値Vとして

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} + \frac{V_s}{(1+r)^n} \quad (1)$$

n : 所有期間 (年) , V_s : n 年後の売却価格
 a_i : i 年目における年純利益, r : 割引率
本論では **割引率* $r=4\%$**

(2) 経済性能指標

文献*に基づき建設 m 年後に地震による修復費用 $B \times D$ が生じた場合の価値を V' として事業の収益性分析における資本収益率は次式で評価されることより

$$\text{資本収益率} = \text{収益} \div \text{投資}$$

経済性能指標値 I は投資を初期耐震改修費用 A として

$$I = \frac{V'}{A} = \frac{1}{A} \left[\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} + \frac{V_s}{(1+r)^n} - \frac{BD}{(1+r)^m} \right] \quad (2)$$

と評価できる。

建築物の価値評価手法 | Economic value evaluation of building

経済性能指標値 I

$$I = \frac{V'}{A} = \frac{1}{A} \left[\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} + \frac{V_s}{(1+r)^n} - \frac{BD}{(1+r)^m} \right]$$

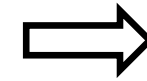
投資 A < 価値 V - 地震時経済損失 $B \times D$

$$1 < \frac{\text{価値 } V - \text{地震時経済損失 } B \times D}{\text{投資 } A}$$



供用期間50年の後
投資額以上の利益を生み黒字
経済的価値あり

$$\frac{\text{価値 } V - \text{地震時経済損失 } B \times D}{\text{投資 } A} < 1$$



供用期間50年の後
投資額以下の利益であり赤字

$$\frac{\text{価値 } V - \text{地震時経済損失 } B \times D}{\text{投資 } A} < 0$$



供用期間50年の後
利益は生まれず損失のみ
経済的価値無し

建築物の価値評価手法 | Economic value evaluation of building

支援の有無

(1) 国指定

国庫補助 70~85% ※所有者の収入に応じて変動	県補助 5~10%	所有者負担額	
		復興基金 2.5~10%	所有者 2.5~10%

(2) 県指定

県補助 50%	所有者負担額	
	復興基金 25%	所有者 25%

(3) 市町村指定

市町村補助 50%	所有者負担額	
	復興基金 25%	所有者 25%

(4) 国登録

① 設計費

国庫補助 70%	県補助 10%	所有者負担額	
		復興基金 10%	所有者 10%

② 工事費

所有者負担額	
復興基金 66.6%	所有者 33.3%

(熊本県 被災文化財対応例)

建築物の価値評価手法 | Economic value evaluation of building

助成金モデル

助成金によってまかなわれる補修工事費用負担について調査を行い実際の助成金と同じように改修工事費用の1/3をまかなう*設定とした



国・神戸市助成金使用例 旧神戸居留地十五番館

*国土交通省都市・地域整備局 公園緑地・景観課：景観・歴史文化環境整備室，歴史的環境形成総合支援事業

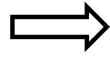
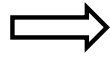
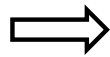
建築物の価値評価手法 | Economic value evaluation of building

CVM (仮想市場評価法 : Contingent Valuation Method)

建築物の価値を市場価値として算出する評価手法であり,アンケート調査によって個人の支払い意思表示額 (WTP : Willingness To Pay) を集計し価値評価を行う手法

アンケート調査

Q : 建築物 X 保存のために
寄付金をいくら頂けますか?

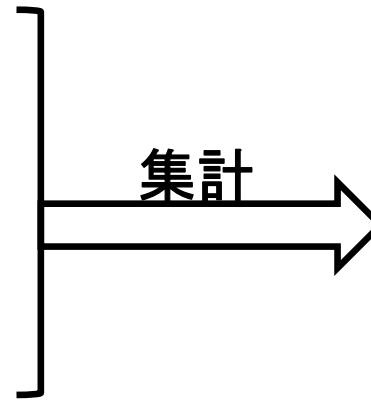


支払い意思表示額

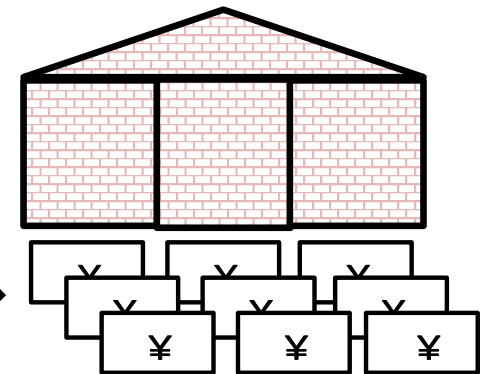
WTP : Willingness To Pay



集計



建築物の市場価値



* 岩本博幸, 垣内恵美子, 氏家清和 : CVMを用いた伝統的建造物群保存地区の文化的景観の経済価値
- 高山市における研究事例 -, 日本都市計画学会都市計画論文集No.41-2, 2006,10

CVMによる歴史的建造物の価値評価*を参考に改修補助費用モデル (寄付金モデル) を設定

寄付金モデル

CVMを用いた歴史的建造物に対する
価値評価の文献調査より

- ・ 建設地点の公示地価
- ・ 支払い意思表示額(WTP)
- ・ WTPの回収率

に以下の関係があることが分かった

$$\underline{W_P = -0.124 \log L_p + 0.77}$$

W_P : WTP平均価格

L_p : 建設地点の公示地価

$$\underline{R_e = 0.019 \log L_p + 0.19}$$

R_e : 回収率

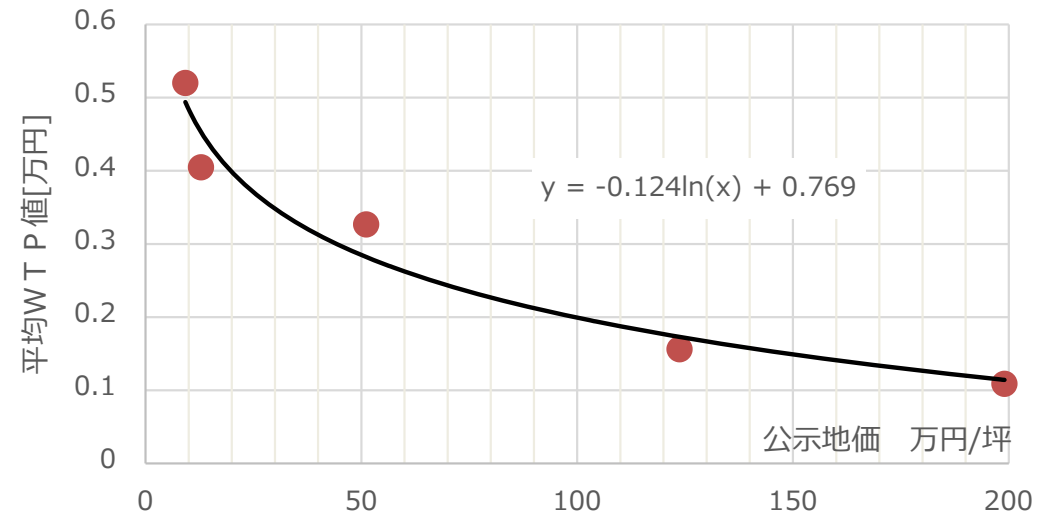


図-1 公示地価－WTP 関係

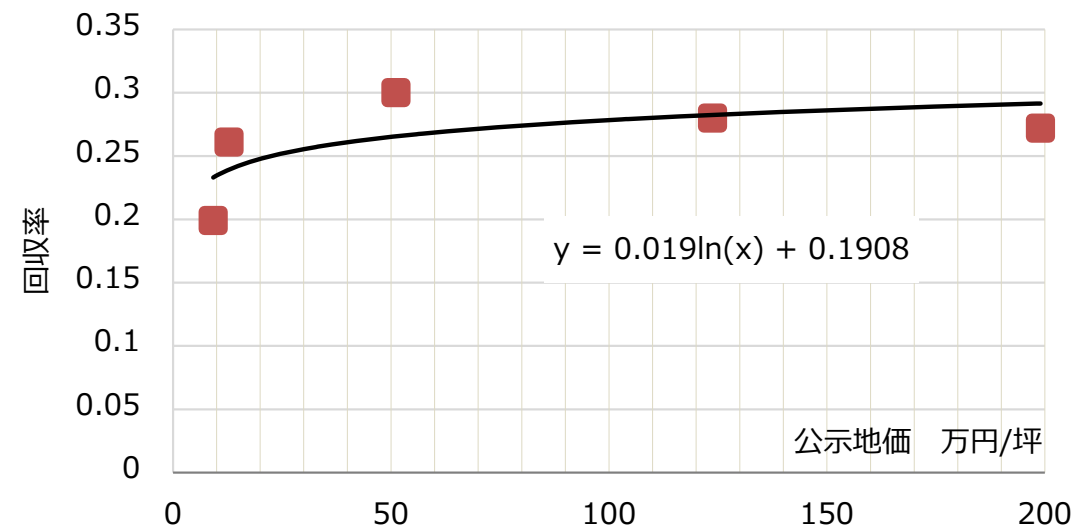


図-2 公示地価－回収率 関係

寄付金モデル

公示地価-WTP関係式、公示地価-WTP回収率 関係より D_A を導き出し
寄付金総回収額を算出するモデルとして設定した

$$\text{寄付金の総回収額} \quad D_A = N_h \times R_e \times W_P$$

但し、 N_h : 対象地域の世帯数

なお、

対象地域

歴史的建築物の認知度が低下しない半径12km圏内

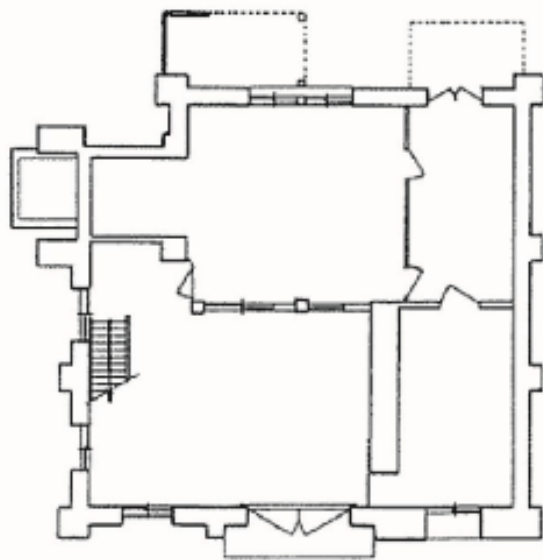
検討事例 | Case study

重要文化財 三池炭鉱旧万田坑施設 事務棟

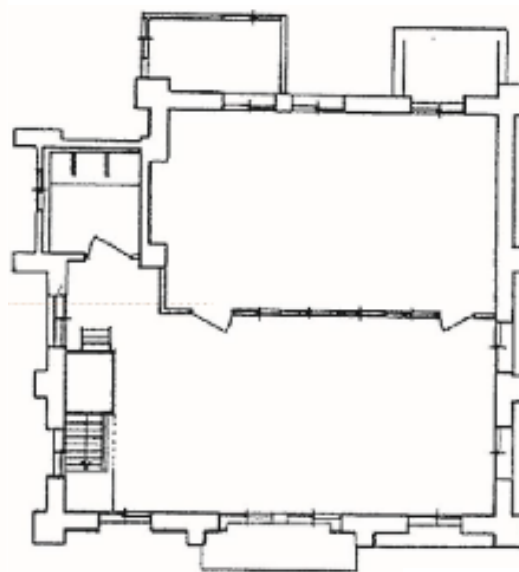


構造	混合構造（煉瓦造+R C造）
梁間	11.68m
桁行	11.34m
建築面積	128.51m ²
外壁	構造用煉瓦一枚半積（柱型付）

ベースシア係数	$C_B = 0.38 \sim 0.4$
一次固有周期	$T = 0.15$ [s]
終局塑性率	$\mu_u = 1 \sim 1.5$ 程度



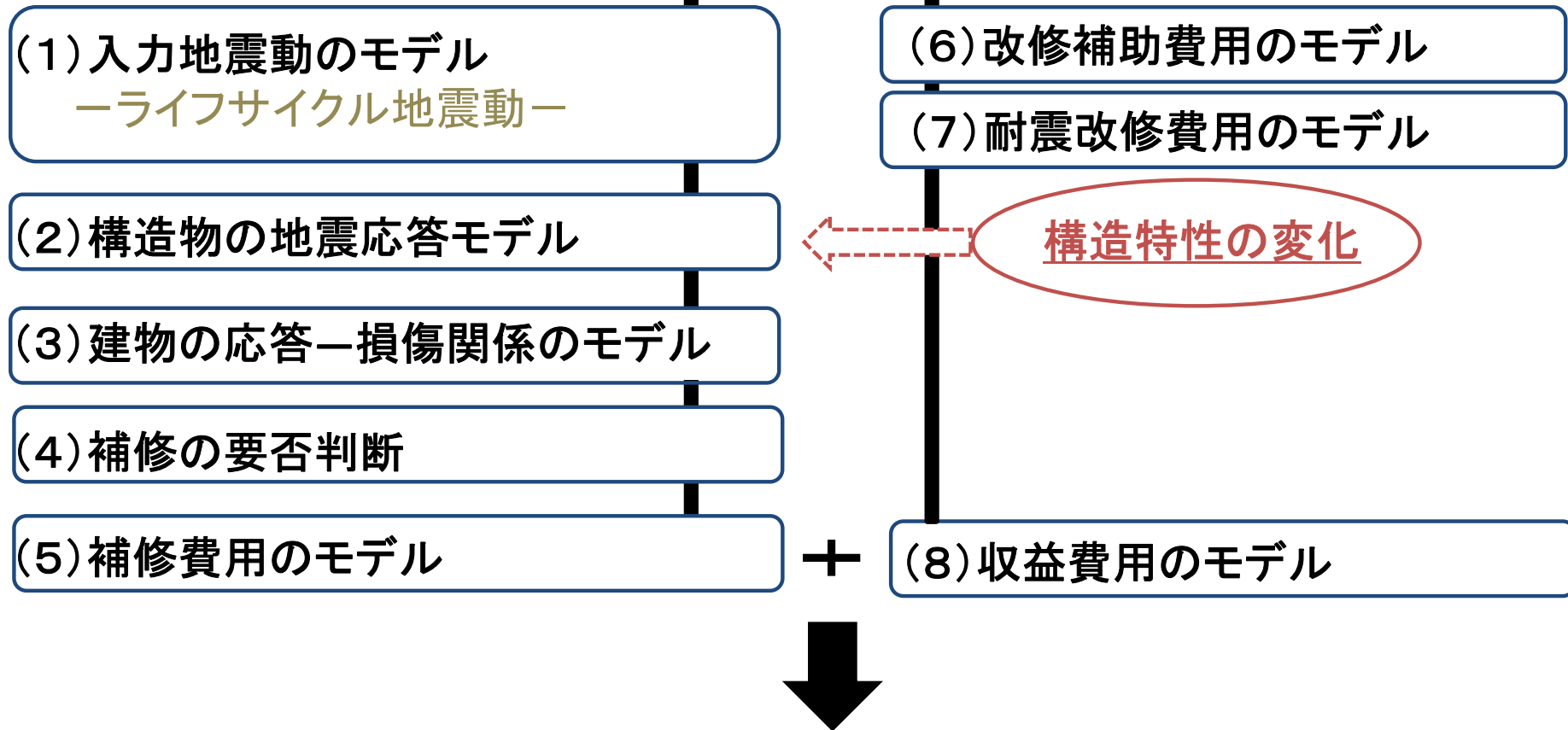
1階平面図



2階平面図

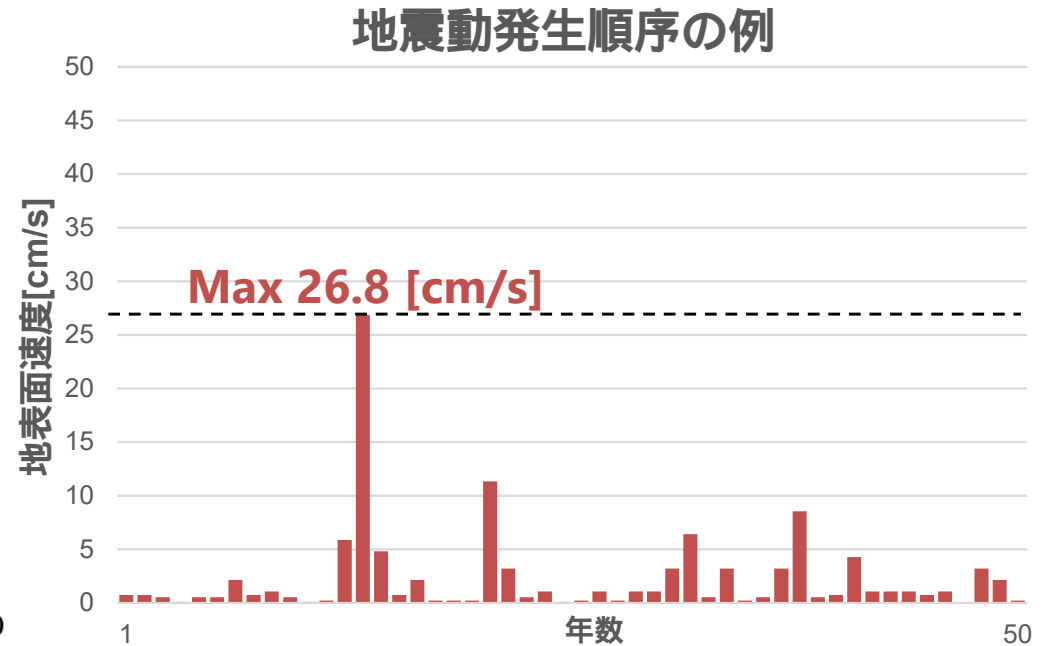
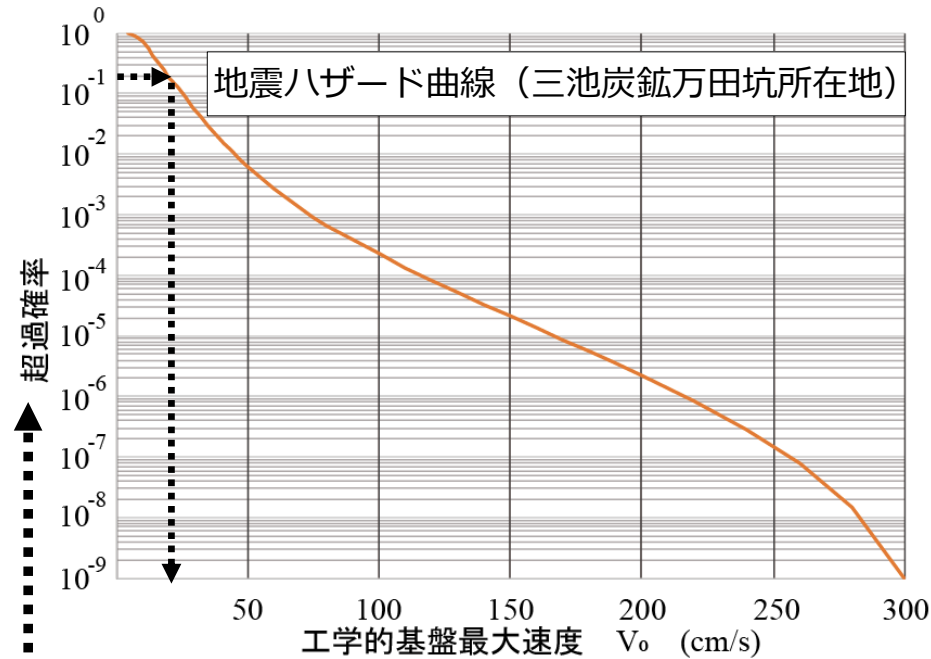


対象構造物群固有の情報



経済性能評価に基づく要求スペクトル算出

地震ハザード曲線から超過確率の組み合わせ式*に従い地震シナリオを作成



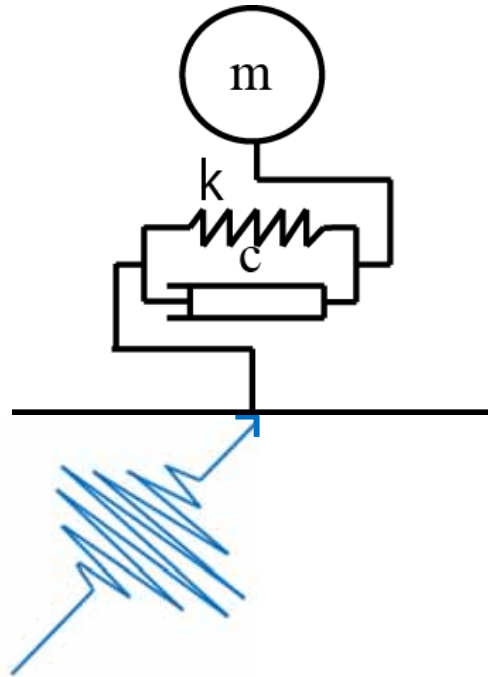
下表の超過確率に相当する速度を抽出

地震の 大きさ順	i=1	i=2	i=3	i=4	..	i=50
50年超過 確率[%]	10.0	69.2	87.8	95.5	..	100

模擬地震動の位相特性は

- ・ 神戸海洋気象台 1995(NS)
- ・ El Centro 1940(NS)
- ・ 八戸港湾 1968(EW)
- ・ 東北大学 1978(NS)

を最大速度に合わせて倍率を乗じ
入力地震動とする



☆ 塑性率は組積壁の耐力低下に伴う剛性低下点の変位に対する終局変位の比とする。

建築構造物

- ・一質点モデルに置換可能と仮定
- ・復元力特性: 耐力低下考慮トリリニア
- ・履歴則: 耐力低下考慮トリリニアSlipモデル
- ・減衰定数: 5% (瞬間剛性比例型)

解析パラメータ

- ・弾性固有周期 T
- ・終局塑性率 μ_u ☆
- ・ベースシア係数 C_B

保存修理報告書等を調査しパラメータの範囲を設定

各耐震改修案別の構造特性パラメータ変化と費用係数

	固有周期	ベースシア係数	終局塑性率	減衰	費用係数	費用 (万円/坪)
現状維持 (最低限の面外転倒防止措置)	0.1~0.25	0.1~0.6	1~3	5%	<u>0.5</u>	35
ステンレスピン挿入等による壁体拘束補強	0.1~0.3	0.15~0.8	2~6	5%	<u>1.6</u>	112
補強鉄骨・耐震プレート増設	1.5~0.4	0.3~1.2	6~9	5%	<u>2.28</u>	160
免震レトロフィット	3.0	免震層上部特性は原状のまま		20%	<u>5</u>	350

規準化費用*

建築着工統計調査(2017年10月 全建物計)	
工事費用予定額 (万円)	240,908,763
床面積合計 (坪)	3515175
新築工事平均費用(万円/坪)	<u>70</u>

構造特性

費用

規準化費用*を用いて規準化

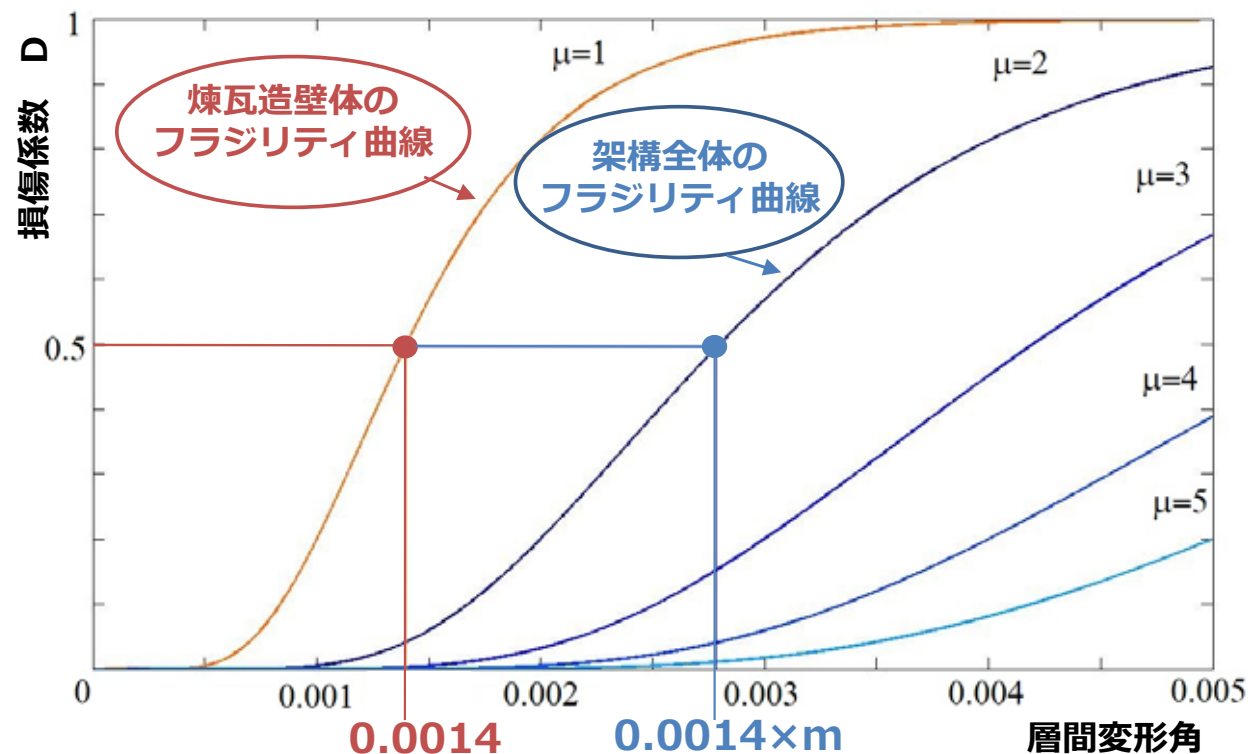
* 国土交通省建築着工統計調査 2017年10月 より

① 損傷係数算出 (フラジリティ曲線)

既往の文献*よりフラジリティ曲線を作成

フラジリティ曲線のパラメータ設定

	中央値	標準偏差
煉瓦造壁体 (終局)	0.0014	0.417
架構全体 (終局)	0.0014 × 塑性率	0.417



損傷確率を、後述する修復費用算出用の係数「**損傷係数D**」とおく

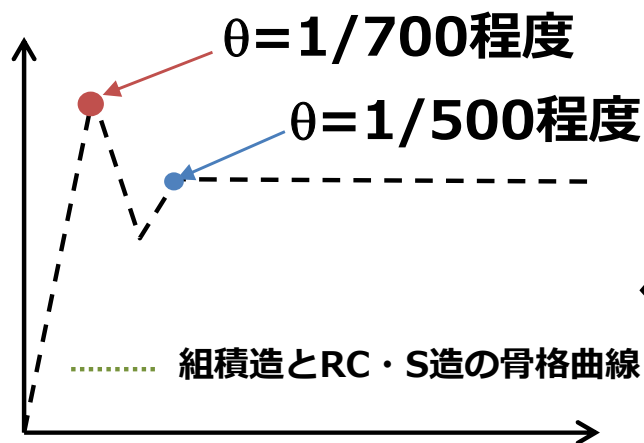
* 岩田芳範ら：既設煉瓦部材の力学的性状について,コンクリート工学年次論文集, 1997

* A.A. Akbarzade et.al : Analysis and Modeling of Unreinforced Masonry Shear Walls Based on Plastic Damage Model, JSEE, Vol.11, No.4, 2010

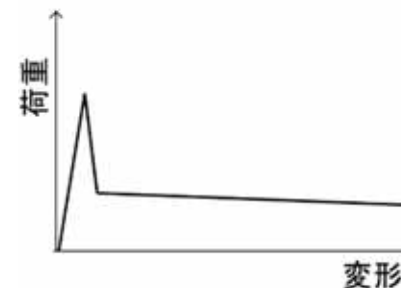
* 吉川弘道ら：地震リスク解析におけるフラジリティ曲線と地震損失関数, コンクリート工学, 45巻, 2007

②補修要否判断

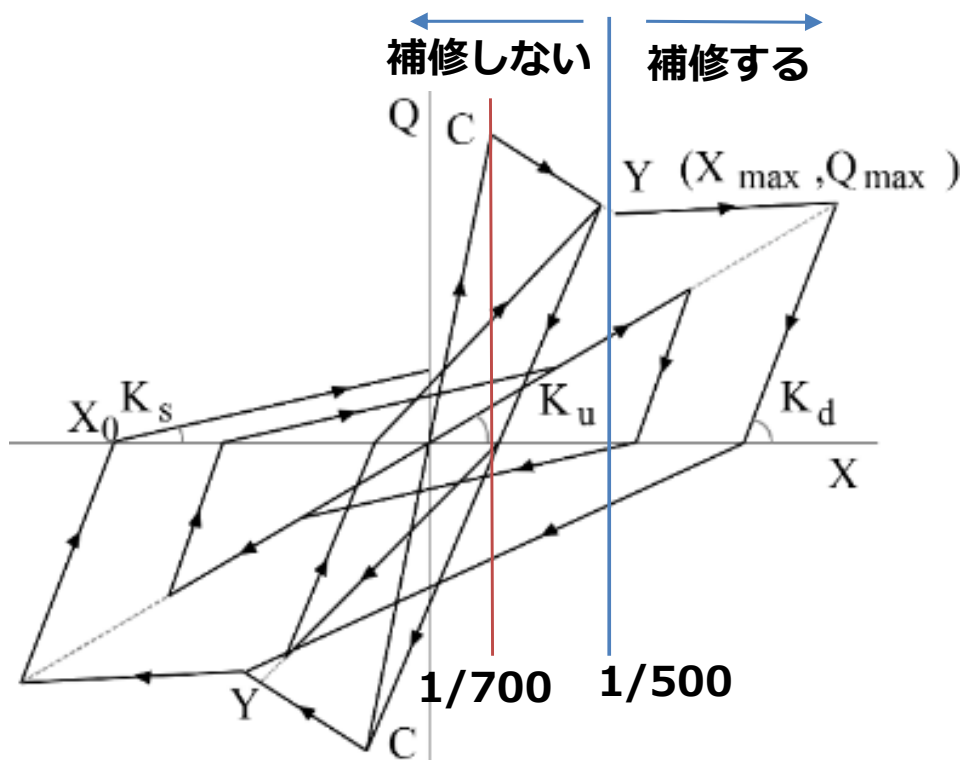
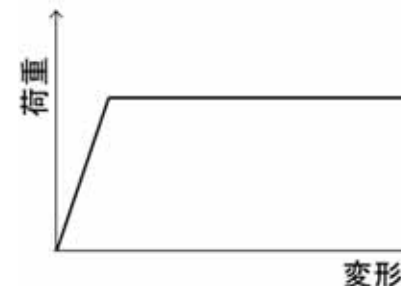
本研究における対象構造物の骨格曲線



組積壁

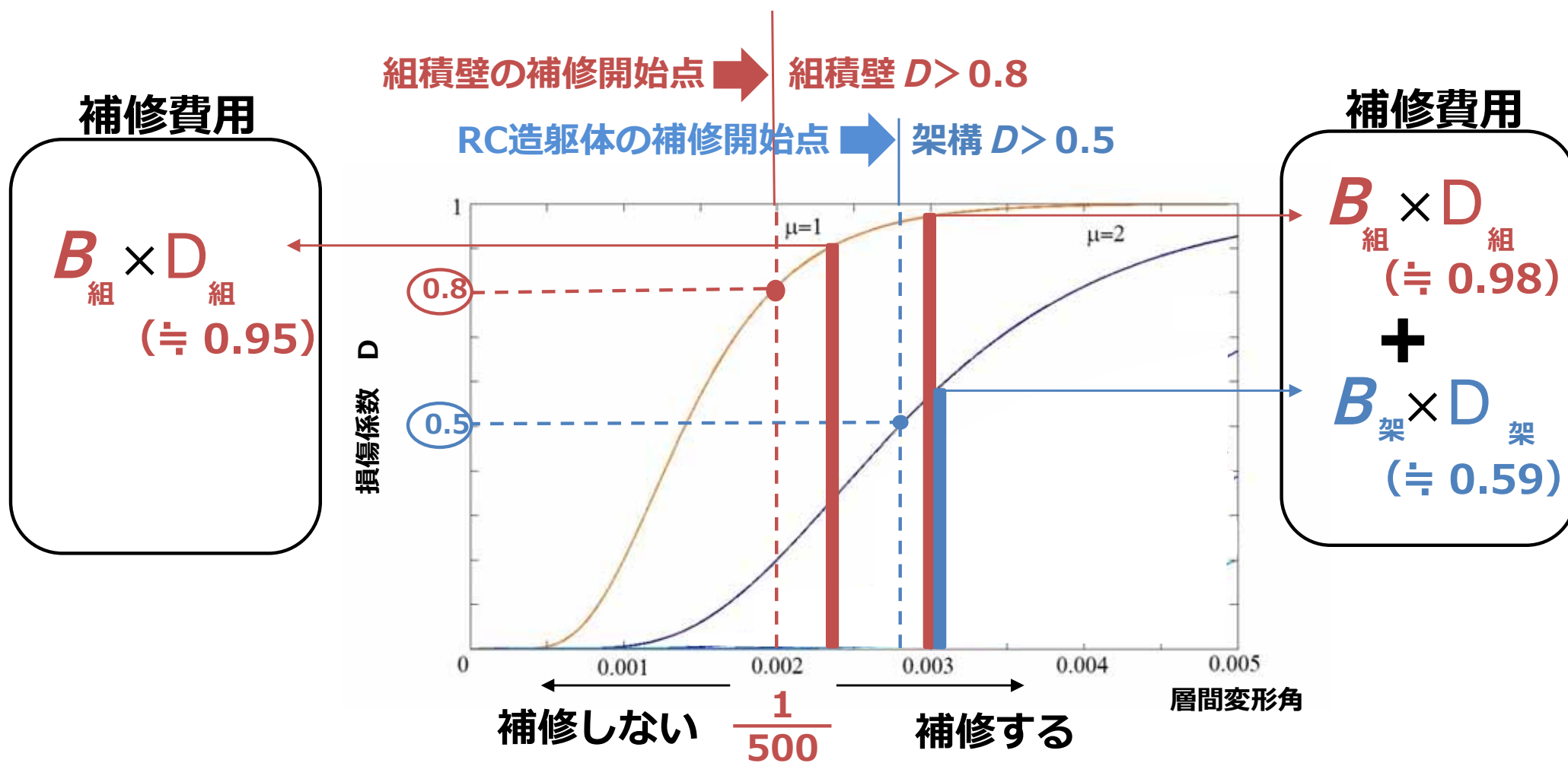


RC造架構等



・ $IDR_{max} < 1/500 \rightarrow$ 補修しない
 経験した最大変位を指向するように初期剛性が低下

・ $IDR_{max} \geq 1/500 \rightarrow$ 補修する
 剛性を初期状態に戻す



補修費用と補修費用係数

	補修費用(万円/坪)	補修費用係数B
煉瓦造壁体補修費用 $D_{組}$	116.7	1.67
架構全体補修費用 $D_{架}$	437.6	6.3

供用期間中の地震損傷毎に修復費用を累積

Case① (助成金・寄付金反映無し)

経済性能指標 I を等高線表示

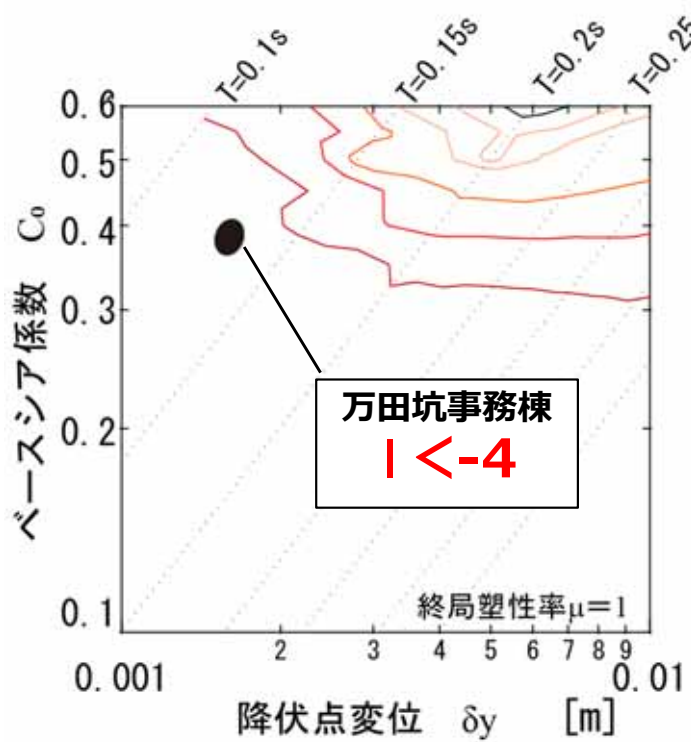


図-3 耐震改修無し

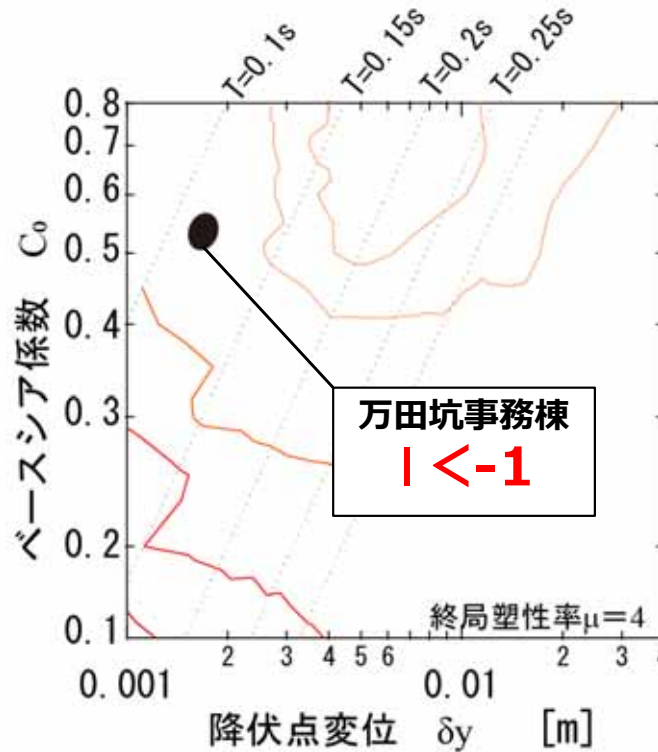


図-4 ステンレスピン挿入による壁体拘束補強

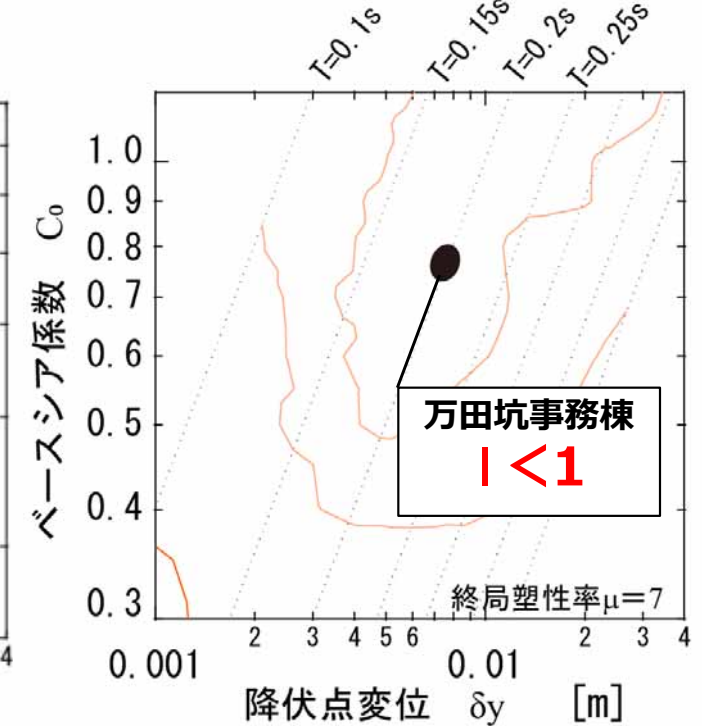
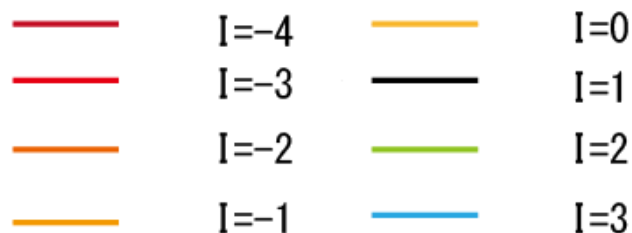


図-5 補強鉄骨・耐震プレート増設

経済性能指標値 I



補強鉄骨・耐震プレート増設の案が最も経済性能指標値が高くなるが、いずれも $I = 1$ を下回る結果となった (耐震改修の投資額を回収できていない)

Case④ (助成金・寄付金両方を反映)

経済性能指標 I を等高線表示

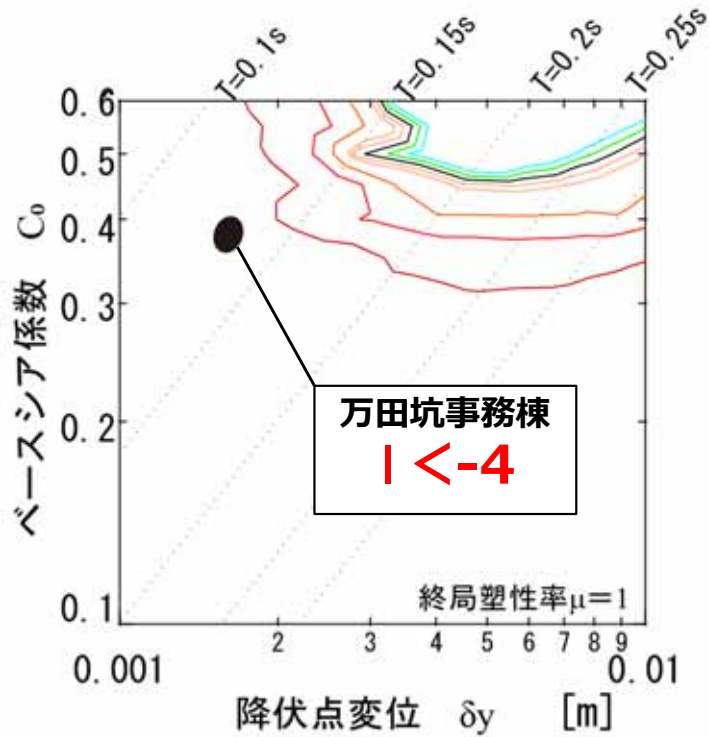


図-6 耐震改修無し

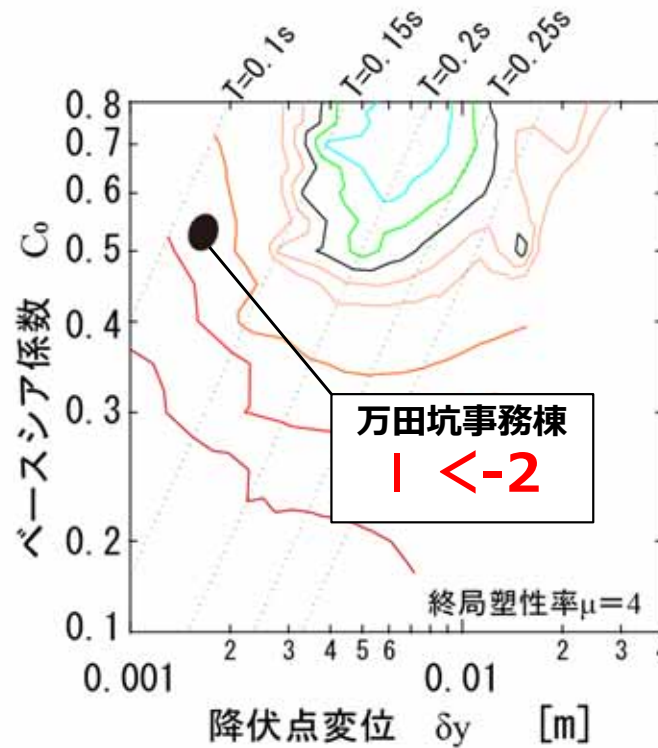


図-7 ステンレスピン挿入による壁体拘束補強

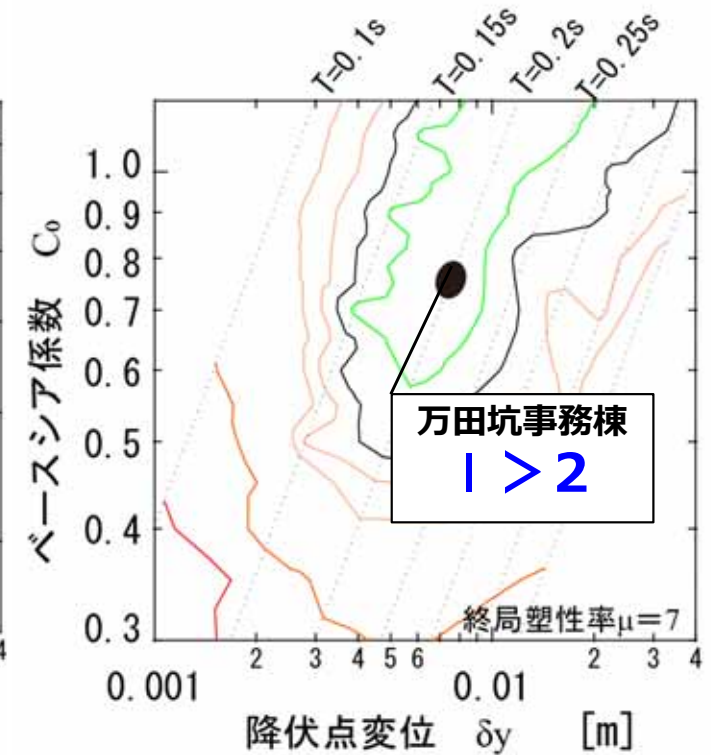
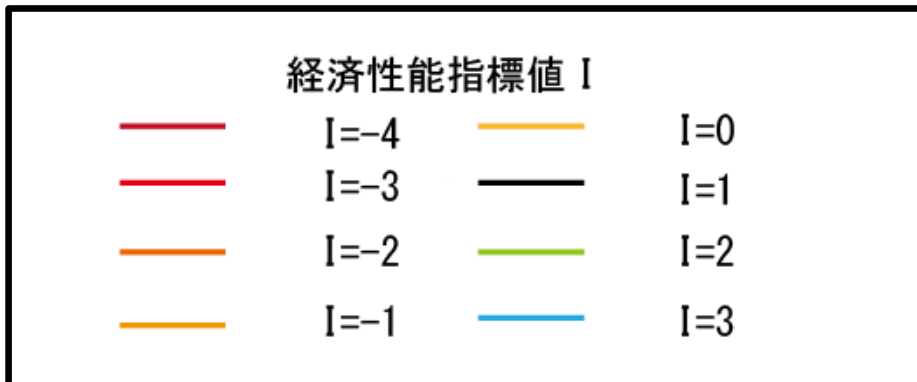


図-8 補強鉄骨・耐震プレート増設



補強鉄骨・耐震プレート増設の案が最も経済性能指標値が高くなり I > 2 と投資額以上の収益を期待できる

まとめ

Conclusions

まとめ | Conclusions

- 国内の建物長寿命化への取り組みの経緯を紹介した。
- 既存建物の調査に近年導入されているDX技術の例を紹介した（テクノフェアの展示でも多数紹介されています）。
- 国内の建設産業におけるDX化導入の経緯と、建物長寿命化にDXが活かされるポイントを紹介した。
- 既存建物の経済価値評価に基づき最適改修方法を建築主が合理的に選択するための情報提供例に関する研究を紹介した。