

「鋼構造-THE NEXT STAGE 次世代への動き」

日時：14日(木) 15：30～17：30 会場：研修室 904

	タイトル	講師 (敬称略)	所属等
1	主題説明 (および進行)	なかむら しょうぞう 中村 聖三	・広報普及委員会委員長 ・長崎大学大学院 工学研究科 システム科学部門 教授
2	ステンレス鋼建造物の現状と課題	ごうのめ ふみのり 江目 文則	・ステンレス技術・標準委員会 委員 長 ・日鉄ステンレス(株) 商品開発部 上席主幹
3	木系建築物の動向 高層化の動き・鋼との共生	いなだ たつお 稲田 達夫	・元 福岡大学 教授 ・(一社)建築鉄骨構造技術支援協会 理事長 ・超高層ビルに木材を使用する研究会 会長
4	鉄骨製作・橋梁製作の最先端 溶接ロボットの動向・展望	とがわ たかお 戸川 貴雄	(株)神戸製鋼所 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部
5	建設の自動化 無人施工 ロボット施工の拡大の可能性 ー建設 RX コンソーシアム設立 目的、活動、展望の概要	たばい ひろし 多葉井 宏	(株)竹中工務店 技術研究所 未来・先端研究部 主席研究員
6	赤外線計測に基づく長大鋼橋梁の非破壊評価技術	きかがみ たかひで 阪上 隆英	神戸大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
7	自律飛行型斜張橋ケーブル点検ロボット	中村 聖三	(上掲)
8	衛星 SAR によるインフラモニタリング	くむら たかひろ 久村 孝寛	日本電気(株) ビジュアルインテリジェンス研究所 主幹研究員
9	質疑応答・講評	中村 聖三	(上掲)

ステンレス鋼構造物の現状と課題

江目 文則

ステンレス鋼構造物の現状と課題

ステンレス技術・標準委員会
江目 文則

自己紹介



ごうのめ ふみのり
江目 文則

1965/2/5 59歳

- ・日鉄ステンレス株式会社
商品開発部 上席主幹
 - ・日本鋼構造協会
ステンレス技術標準委員長
- 趣味: テニス、
ダムや水門などの土木インフラと
歴史に関するフィールドワーク

career

- 1990年 京都大学大学院工学研究科修士課程(金属加工学)修了
- 1990年 新日本製鉄株式会社 入社(配属:新素材事業部)
- 1993年 ステンレス厚板工場に配転、以降、一貫してステンレス鋼に関わる
担当は、原子力発電所炉内構造物、再処置設備、などのステンレス厚板の品質管理
- 1999年 ステンレス厚板工場製造課長
- 2013年 本社 商品開発部 厚板担当
- 2019年 本社 商品開発部 建材インフラGr 統括

日本の技術と未来に揺るぎない信頼!

目次



1. 構造物と材料
2. 鋼材の製法
3. ステンレス鋼
4. 二相ステンレス鋼
5. 活用事例
6. おわりに

1. 構造物と材料

構造物に使用される材料

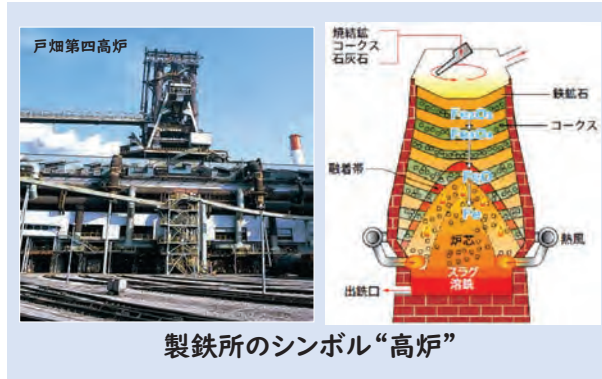
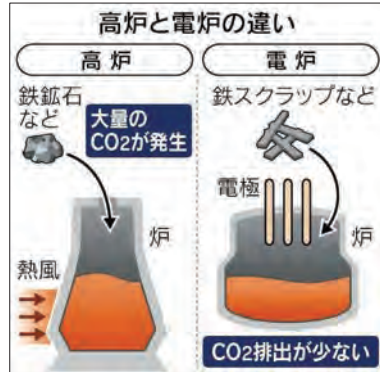
構造物に使用する材料と特徴

区分	材料	特徴
コンクリート	コンクリート $E \approx 30\text{GPa}$ 鉄筋コンクリート プレストレスコンクリート	① 圧縮応力に対して強いが、引張や曲げ応力にはさほど強くない ② 同荷重を支える部材同士を比較すれば、重量が重くなる傾向 ③ 耐候性は高いが、鉄筋コンクリートの場合鉄筋の腐食が問題となる
プラスチック	FRP E は使い方による CFRP	① 非常に軽量で引張強度が強いが、曲げや圧縮強度に乏しい ② 工場製作が主で、現場での加工性に乏しい ③ 腐食には強いが、紫外線により劣化する事が多く耐候性は低い
金属	炭素鋼 $E \approx 200\text{GPa}$ (SS400, SM490, 他)	① コンクリートと比較して軽量設計が可能 ② 紫外線による劣化がない ③ 自然水、特に塩化物イオンを含む環境で腐食するため塗装が必要
	アルミ合金 $E \approx 70\text{GPa}$ (A5083, 他)	① 非常に軽量だが金属としては強度は低い ② 加工性は良いが、現場溶接など現地での加工は難しい ③ そのままでは雨水環境で腐食するため塗装やアルマイト処理が必要
	ステンレス鋼 $E \approx 200\text{GPa}$ (SUS304, 他)	① 一般に炭素鋼より強度が低い伸びが大きく加工性が良い ② 炭素鋼と同等の溶接が可能で、現場溶接も可能 ③ 耐食性に優れているが環境(塩分影響)に応じて使い分けが必要

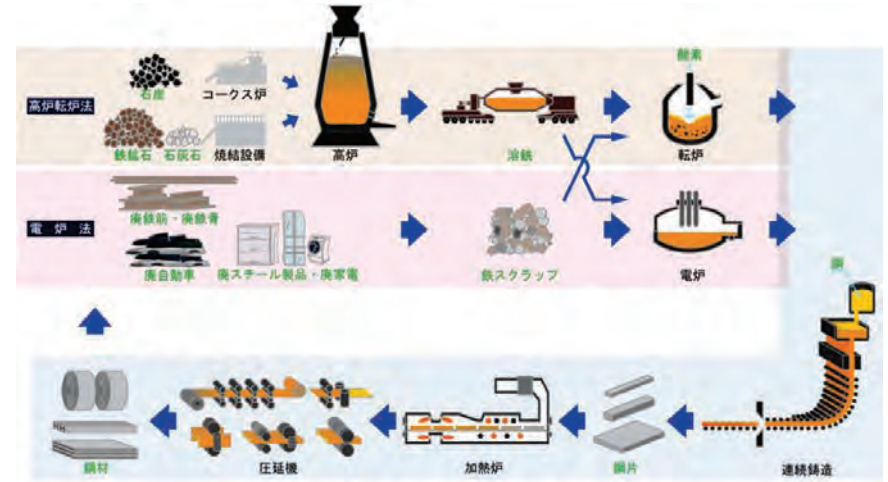
鋼材の製造方法

■原料工程(上工程)

鉄鋼石から鉄を取り出す・・・高炉法と電炉法



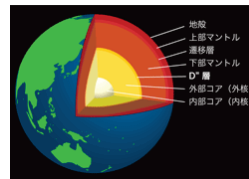
鋼材の製造方法



ステンレス鋼の定義(JIS)

≧10.5wt%の **クロム(Cr)** を含む鋼をステンレス鋼と呼びます。
この**クロム(Cr)**の酸化被膜が内部を保護するため、長期的な耐久性に優れます。

さらに **ニッケル(Ni)** や **モリブデン(Mo)** 等を加えて、耐食性の他にも、強度・硬度、耐熱性、低温靱性など、様々な特徴を出します。



ニッケルは重い元素で、地球内部の「コア」中の存在比率が高い

クロム(Cr)が酸素(O)と反応!
「さび」から守るバリアを形成!

傷が付いても
短時間で修復!



ステンレス鋼の分類

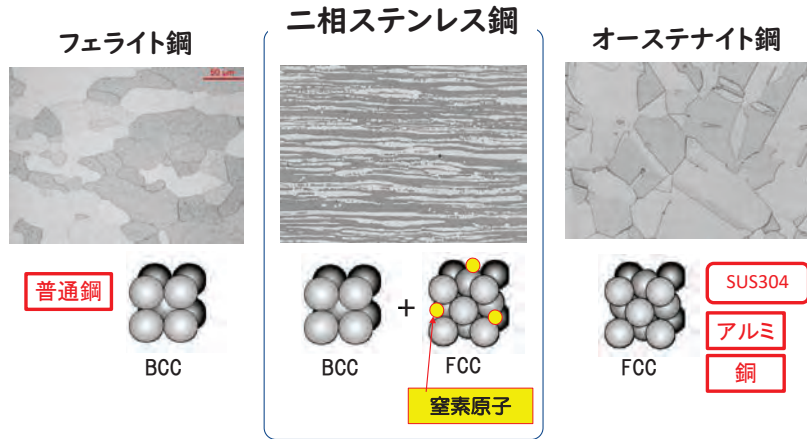
JIS規格 (G 4305 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯) には、66鋼種 が登録されています。
金属組織により、**マルテンサイト系**、**フェライト系**、**オーステナイト系**、**二相系** の4つに分類されます。

特性	Cr系ステンレス鋼 (400番)		Cr-Ni系ステンレス鋼 (300番)	
	マルテンサイト系 [6鋼種]	フェライト系 [15鋼種]	オーステナイト系 [37鋼種]	二相系 [6鋼種]
代表鋼種 成分例	SUS 410 12% Cr	SUS 430 17% Cr	SUS 304 18% Cr-8% Ni	SUS 329J4L 25%Cr-6%Ni-3%Mo
磁性	加工後あり	あり	磁性を帯びる場合あり	あり
強度 (vs SS400)	高強度	普通鋼と同等	一般に低め	高強度
焼入硬化性	あり(炭素量による)	なし	なし	なし
耐食性	[基準]	やや優れる	優れる	より優れる
熱膨張	普通鋼と同程度	普通鋼と同程度	大きい	やや大きい
用途例	刃物・ボルト	厨房・家電 自動車	建材・化学プラント 車両・原子力	化学プラント 海水淡水化装置
溶接	可能	可能	容易	容易

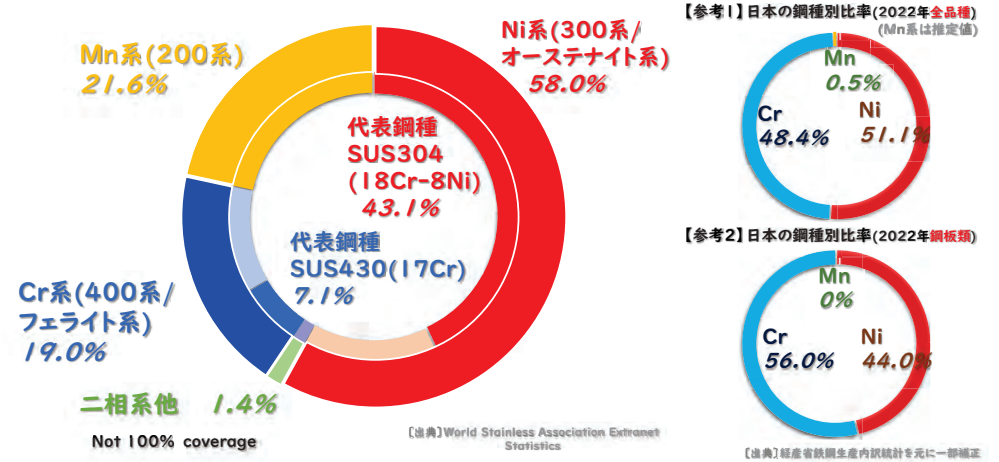
使用環境に応じた『**適材適所の鋼種選定**』が重要となります。

ステンレス鋼の金属組織

■二相ステンレス鋼は、フェライト相中に硬いオーステナイト相を分散析出させた鋼です

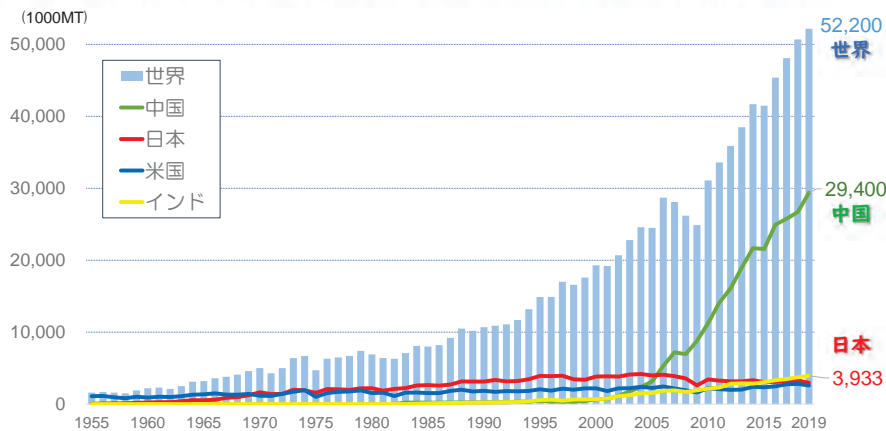


世界のステンレス鋼の鋼種と構成



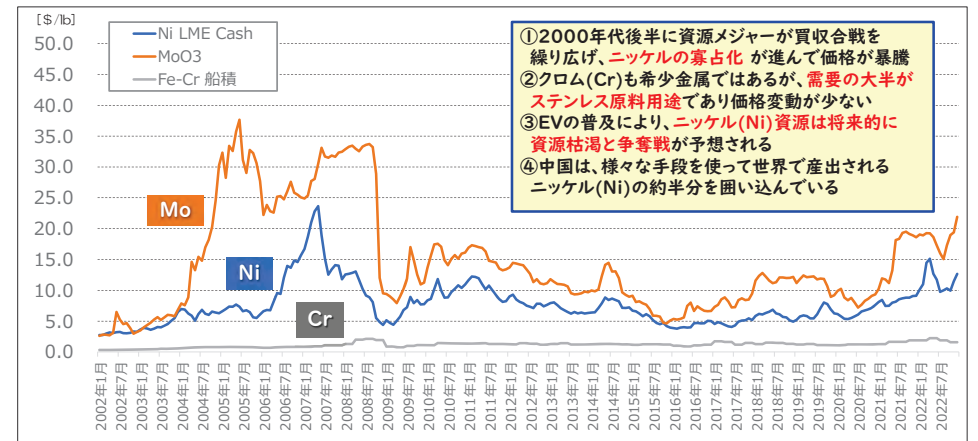
ステンレス鋼の生産量(過去60年)

■かつてはステンレス鋼は日本のお家芸、近年は中国の伸びが圧倒的



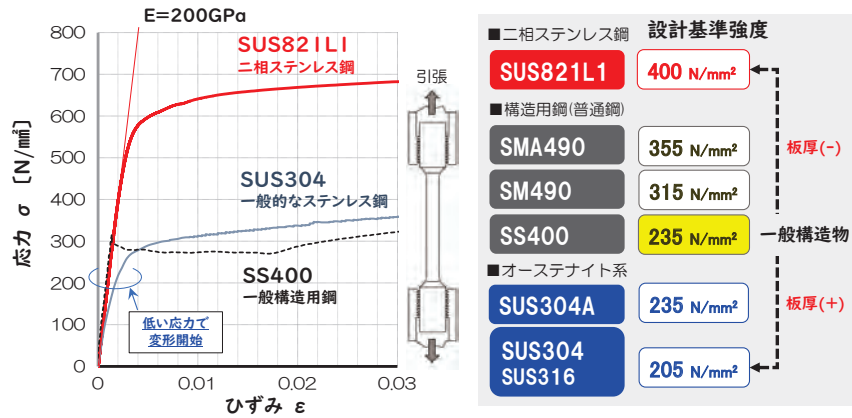
ステンレス鋼主原料の資源問題

資源会社は世界で 約4,000社:メジャー 3.5%、ジュニア 96.5%
会社数で3.5%しかない 資源メジャーが資源の9割を握る構図



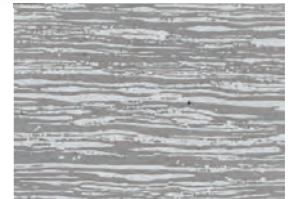
二相ステンレス鋼の応力-ひずみ関係

ステンレス鋼SUS304と一般構造用鋼SS400の強度試験を行うと、ステンレス鋼の方が小さい力で塑性変形が生じる。これがステンレス鋼が普通鋼に対して「やわらかい」とされる理由。

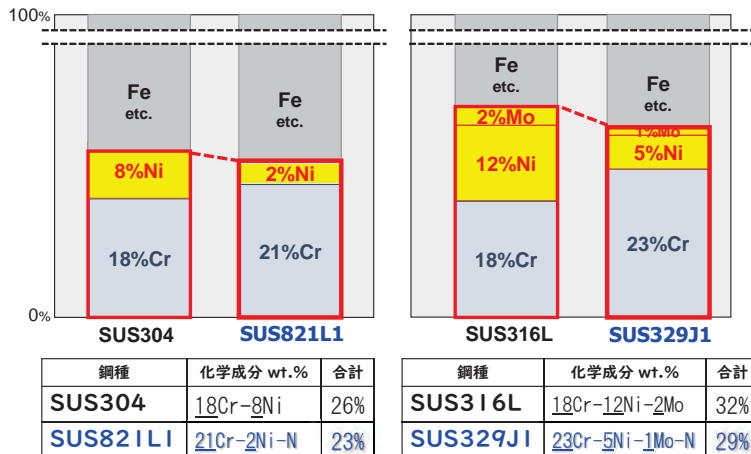


新しい構造用鋼「二相ステンレス鋼」

- 一斉に更新時期を迎えた日本のインフラ設備
切り札のひとつが「二相ステンレス鋼」で、土木分野での採用実績が日本が突出して高く、**日本のお家芸**となりつつある
- 二相ステンレス鋼の特徴は「高強度」「高耐食」そして「省資源」
全ての特性が優れたコストパフォーマンスにつながる
- 増え続ける実績例
(これから紹介)



二相ステンレス鋼による省資源化効果



東日本大震災における津波被害

- 1 地震の概況等
- (1) 発生日 : 2011年3月11日(金)
 - (2) 震源 : 宮城県 三陸沖 深さ約24km
 - (3) 規模 : マグニチュード 9.0
最大震度震度 7(栗原市)
 - (4) 津波高さ:
仙台港 7.2m 石巻市 8.6m以上
南三陸町(志津川地区) **15.5m**
 - (5) 津波遡上高:
女川町 34.7m
南三陸町 志津川 20.2m 歌津 26.1m
- 2 被害の状況等[2012年7月31日現在]
- (1) 人的被害
死者 10,310人 行方不明者 1,426人
 - (2) 被害額
9兆1,642億円
農業関連被害額 約5,454億円



※2012年8月に宮城県が発表した資料より抜粋

震災復興工事へのステンレス適用(1)



2012～2013年に宮城県内の防潮水門28箇所(64門)、岩手県内の主要な防潮水門全てを視察。

津波高さが、水門高さを大きく超える状況であったものの、**鋼製の扉体の変形等の事例は皆無**であった。

但し、開閉装置や電気室などの**付帯設備は完全に破壊**されていた。



被害状況【宮城県南三陸町】

被害状況【岩手県宮古市】

岩手県内では陸閘門(アルミ合金製が殆ど)を視察しようとしたが、**引き波により、アルミ合金製門扉の多くが流出**しており、損傷状況などを確認できたのはマイター式(観音開き)など数例のみであった。

震災復興工事へのステンレス適用(2)

■震災復興工事で前提とする津波高さが見直しされ、**設計水深が大幅増加**

高強度の二相ステンレス鋼(SUS821L1)による薄肉軽量設計を提案
⇒ **軽量化と構造の簡素化**で大幅なコスト削減を実現しました

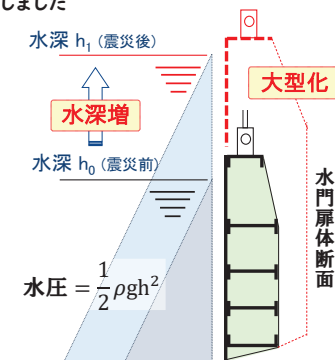


図.設計水深の変化と扉体大型化の概念図

世界的な橋梁ステンレス化の潮流

1990年代にスイスの登山路に世界で最初のステンレス製の橋が架設されました。アジアでもシンガポールや香港の大型橋の主要部にステンレス鋼が採用されています。



Suransuns Bridge, Switzerland(1999)



Helix Bridge, Singapore(2009)



Stonecutters Bridge, Hong Kong(2009)

日本のステンレス橋(人道橋)

東京都は隅田川の耐震護岸「隅田川テラス」連続化のため3箇所(大島川、月島川、堅川)に橋梁を設置しましたが、主要部材には二相ステンレス鋼が採用されています。



出典：JSSC 2022 SPRING No.49 ステンレス・アプリケーション

大島川テラス連絡橋(架設中)

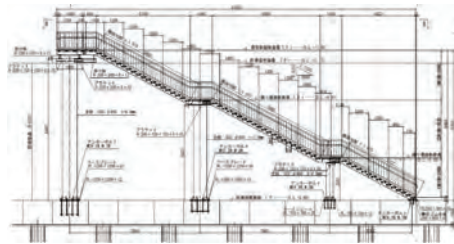


ステンレス鋼を採用する事で、将来の再塗装メンテナンスなど維持管理費用を軽減し、ライフサイクルコストを大きく低減させています。
このテラス連絡橋の設置により、隅田川河口エリアの回遊性が向上し、同時に、屋形船をイメージした外観は、新しい水辺の都市景観を生み出しています。

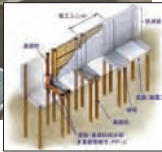
ステンレス鋼構造物 宮古港海岸避難階段

宮古港海岸鉾ヶ崎地区避難階段

宮古港海岸鉾ヶ崎地区避難階段設置工事No.3号



写真撮影：日鉄ステンレス株式会社



津波発生時に避難に使う施設です。宮古港海岸はプレキャスト防潮堤が採用されましたが、現場打ちコンクリートと異なり、コンクリート製の避難階段を後付けする事が困難でした。そのため、防潮堤を跨ぐ様に縦ステンレス鋼製の避難階段が設置されました。
この縦ステンレス鋼階段は、宮古港湾に6箇所、大船渡港湾に13箇所設置されています。全国のステンレス橋梁(歩道橋)の先駆けとなる事業となっています。

鳥取城擬宝珠橋 ステンレス製水中梁

鳥取城擬宝珠橋(復元橋)

ステンレス製水中梁の施工状況



写真提供 鳥取市

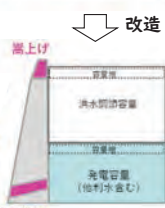
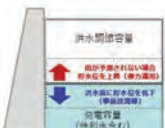
【受賞歴】 ■土木学会 田中賞 ■ステンレス協会賞 優秀賞
■日建連表彰 土木賞 特別賞
■第8回 ものづくり日本大賞 特別賞(橋崎製作所)

史跡鳥取城擬宝珠橋は、鳥取市が進める鳥取城の復元事業において最初に完成した復元構造物ですが、城郭復元橋としては国内最長(全長約37m、幅6m)を誇ります。
事前の発掘調査で堀底から江戸時代の橋脚遺構が発見されたため復元工事が困難とされましたが、遺構との干渉を避けるために水中梁を架橋し、その上に木橋を復元するという国内初の工法が採用されました。水中梁には、高強度かつ耐久性にも優れた二相ステンレス鋼が採用されています。

全国で進むダム再生プロジェクト

事業実施中ダム(直轄・水資源機構)

[ダム再生イメージとSUS化提案]
◎貯水と放流の能力を増やす



直轄・水資源機構 ダム事業数

総数	30
R5,R6年度完成	4
ほぼ完成済	3
建設中	2
入札待ち	1
設計中または計画中	20

阿蘇立野ダム建設工事

立野ダム常用洪水吐放流管製作据付工事

㈨インフラシステム株式会社(現 ㈨インフラ建設株式会社)

【概要】 上段放流管 呑口部 幅5,000m×高8,930m 2条
下段放流管 呑口部 幅5,000m×高8,930m 1条 その他
【材質】 二相ステンレス鋼(SUS821L1) その他

立野ダム減勢工整流板製作据付工事

豊田工業株式会社

【概要】 減勢工、スリットダム への整流板ライニング
【材質】 二相ステンレス鋼(SUS821L1)

■上段は仮設構台で放流管を組立てて堤体内に引込む工法を採用



■下段は最初に放流管を組立てて後でダム本体を打設



立野ダム 諸元

堤高 87m 堤頂長 197m 堤体積 43万m³
白川治川の洪水被害を防ぐことを目的とした洪水調節専用ダム(流水型ダム※)で、洪水時のみダムに貯水し400m³/sの洪水調節を行う。
※流水型ダム：洪水調節のみを目的とし、現在の川の高さとほぼ同じ高さに放流管を設置し、平常時には流水の貯蓄を行わないダム



～ステンレス鋼で社会の発展に貢献します～

注意事項:この資料は配布先限りでお願いします。



木系建築物の動向
高層化の動き・鋼との共生

稲田 達夫

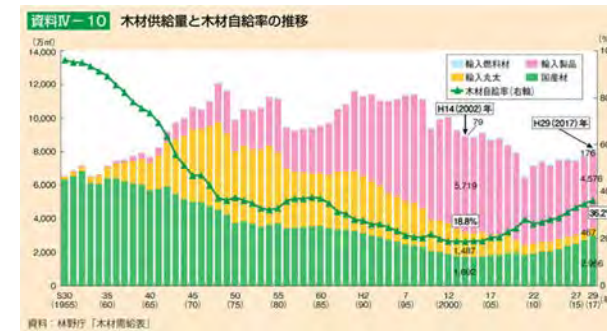
木系建築物の動向 高層化の動き・鋼との共生

2024年11月14日
 (一社)建築鉄骨構造技術支援協会理事長
 超高層ビルに木材を使用する研究会会長
 稲田達夫

なぜ今、中大規模木造建築なのか

目的は我国林業の活性化・健全化

- ・人工林の材積は年々増え続けている
- ・木材自給率はまだまだ低い



非住宅建物の床を全て木床とした場合の木材使用量

項目	計算結果
年間新築着工床面積	1.5 億m²
非住宅非木造建築比率	40 %
地上階比率	75 %
CLT床厚	150 mm
木材使用量 (CLT)	675 万m³
歩留まり	30 %
木材使用量 (丸太)	2250 万m³

2017年度： 5400万m³/年
 非住宅建築を全て木床としても、森林材積の年間増加量を超えない

年間供給量： 2714万m³/年
 木床による： 2250万m³/年
 合計： 4964万m³/年

山にお金を戻す

Stadthaus 2009年 ロンドン



Forte 2012年 メルボルン



木材会館 2009年 東京（最上階のみ木造）



サウスウッド 2013年 横浜



ブロック・コモンズ 2017年 カナダ



松尾建設本店ビル 2018年 佐賀市



PARK WOOD 高森 2019年 仙台市



HoHo Vienna 2019年 ウィーン

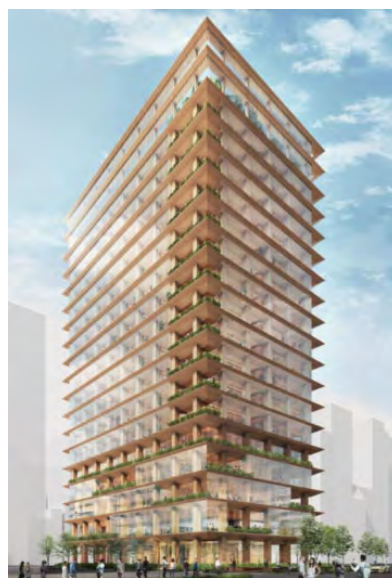


三井不動産と竹中工務店、日本橋にて国内最大・最高層の
木造賃貸オフィスビル計画検討に着手
～三井不動産グループが保有する森林の木材を使用し持続可能な社会の実現に貢献～

【物件概要】

所在地	東京都中央区日本橋本町一丁目3番地
敷地面積	約 2,500 m ²
用途	事務所、店舗、駐車場 等
延床面積	約 26,000 m ²
階数・高さ	地上 17 階・約 70m
オフィス基準階面積	約 300 坪(専有面積)
構造	ハイブリッド木造
建築主	三井不動産株式会社
設計予定者	株式会社竹中工務店
竣工時期	2025 年予定

※数値は想定であり、今後の検討状況により、変更となる可能性があります。



新・本店ビルのデザインについて

2022 年 8 月 1 日
東京海上ホールディングス株式会社
東京海上日動火災保険株式会社



所在及び地番	東京都千代田区丸の内 1 丁目 6 番 1
敷地面積	10,147.61 m ²
主要用途	事務所(本店ビル)、駐車場等
構造	S 造/木造/SRC 造
規模	地下 3 階、地上 20 階、塔屋 2 階
建物高さ	約 100m
延床面積	約 130,000 m ²

福岡市「天神ビッグバン」

所在地：福岡市中央区天神1丁目
竣工：2026年12月（予定）
用途：事務所、ホテル、店舗、駐車場
建築主：三菱地所株式会社
敷地面積：約4,640平方メートル
延床面積：約73,960平方メートル
階数：地上21階、地下4階
建物高さ：約91メートル
構造：地上/鉄骨造、
地下/鉄骨鉄筋コンクリート造



CLTの歴史

- 1990年代：ヨーロッパで誕生・製品化
- その後、北米、オーストラリアに普及拡大
- 日本では、2013年にJAS（日本農林規格）が制定
- 2016年に建築基準法のCLT関連告示が施行
- 我国におけるCLTの導入はかなり遅れて始まった
- 現状においては、技術面では遜色の無い所まで来ている
- 材料供給面、コスト面では課題も

なぜ鋼木混合構造なのか

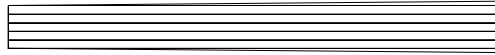
- 鋼木混合構造建築の構成
 - ・ 柱梁フレーム：鉄骨造
 - ・ 床、制振壁：木質パネル
 - ・ 利点：軽量、建築自由度の拡大、工期短縮、CO2固定
- 鋼木混合構造建築の耐震メカニズム
 - ・ 「鉄骨フレーム」が振動現象を安定化させる弾性要素として働く
 - ・ 「木質パネル制振壁」が早期に降伏し振動エネルギーを吸収する
- 確認手続き
 - ・ 鉄骨フレームのみで「JSCA基準級」を満足させる
 - ・ 木質パネル制振壁を付加することにより、さらに高い耐震性を確保

木質壁パネル制震壁



「大規模木造」 普及の阻害要因(1)

- ⇒木材の歩留まりが悪い
- ⇒木材価格が高い
- ⇒**建設工事費が高い**



末口径 (mm)	元口径 (mm)	長さ (mm)	材積 (m3)	内挿角柱体積 (m3)	歩留まり (%)
240	280	4000	0.214	0.115	54.0

製品	工程	製品価格 (円/m3)	歩留まり	工賃 (円/m3)
マザーボード製造	丸太	15,000	(100トール/m3、国際価格)	
	製材	37,037	0.54	5,000
	乾燥	46,708	0.90	5,000
	カンナがけ	64,635	0.80	5,000
	加工集成	77,372	0.90	5,000
	仕上げ	91,524	0.90	5,000
製品加工	板取	150,819	0.64	5,000
	加工	155,819	1.00	5,000
			22.4%	

丸太の単価：1.5万円/m3
(国際価格：100トール/m3)
CLTの単価：15万円/m3

CLT床単価：3万円/m2
RC床単価：7500円/m2

「大規模木造」 普及の阻害要因(2)

製材工場の不足

戸建住宅用：約4000工場
集成材工場：132工場
CLT工場：12工場

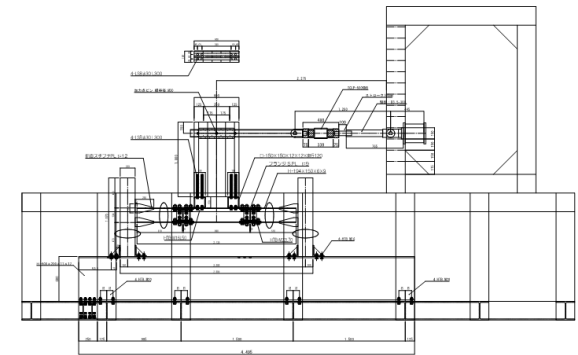
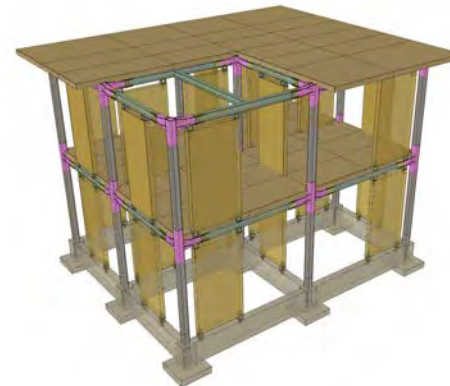


課題克服のために

- 建築構造のみを「鉄・コンクリートから木材に置き換える」という発想では普及拡大には限界も
- 木材が補うことができる建築の機能を整理し直すことも重要では
例：構造、断熱、外装、内装、音響、歩行、吸湿、等々



今年度の研究テーマ



鉄骨製作・橋梁製作の最先端
溶接ロボットの動向・展望

戸川 貴雄

鉄骨製作・橋梁製作の最先端 溶接ロボットの動向・展望

株式会社 神戸製鋼所 溶接事業部門
技術センター 溶接システム部
戸川 貴雄

2024年11月14日

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を複写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

目次

鉄骨製作・橋梁製作の最先端 溶接ロボットの動向・展望

- 1 建築鉄骨向け溶接ロボットシステム
 - ・システムの特長、システム事例、低スパッタ溶接プロセスREGARC™
 - ・新技術、新商品の紹介
- 2 橋梁向け溶接ロボットシステム
 - ・システム例と自動プログラミングソフト
 - ・溶接の特長
- 3 生産支援システム
 - ・生産支援ソフトウェア ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT
 - ・ARCMAN™ View

2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を複写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

建築鉄骨向け溶接ロボットシステム 特長

建築鉄骨向け溶接における自動化のアプローチは2種類に大別される
本稿では、多関節型ロボットを用いた工場内で使用する溶接システムを紹介

多関節型ロボットを用いた自動溶接システム



簡易型ロボットの適用



2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

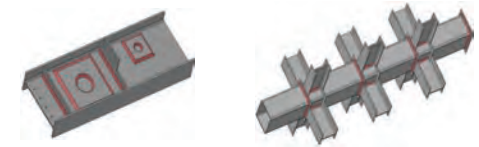
株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を複写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

建築鉄骨向け溶接ロボットシステム 特長

一品様な設計、小型から大型まで多種

対象ワークの特徴

- ・溶接量が多い
- ・高い溶接品質
- ・一品一様



鉄骨ファブリケータの状況

- ・限られたスペース
- ・溶接技能者の不足
- ・賃金の上昇
- ・労働時間の削減
- ・納期への対応



2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を複写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

溶接技術、ロボット制御技術、ソフトウェア技術等を組合せて発展

2台のロボットによる同時溶接

REGARC™

低スパッタ高能率溶接プロセス



ソフトウェア



溶接ワイヤ



溶接電源



連続運転性を高める機器



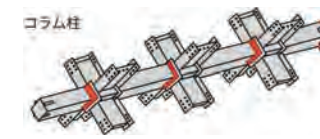
2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

工程ごとに最適なロボットシステム構成を提供



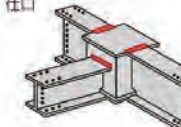
コラム柱



コラムコア、長方形コア



仕口



2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

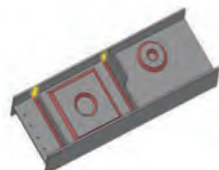
株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

梁ウェブ面に加え、フランジ部も適用

梁ウェブ面適用時溶接姿勢



梁フランジ部適用時溶接姿勢



1軸ポジションと天吊型ロボットシステムによる適用率の向上

2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

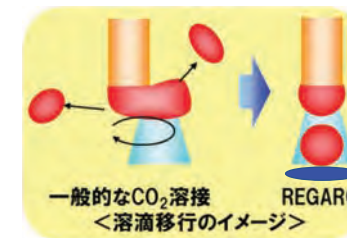
グローバル移行での安定した溶滴移行で低スパッタ、高能率溶接を実現

REGARC™ の特長

CO₂溶接において、最適なパルス波形制御を適用

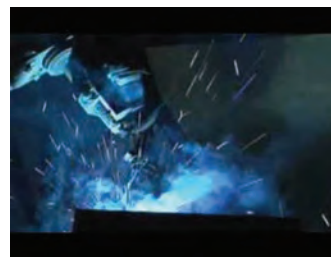


グローバル移行において、安定した溶滴移行

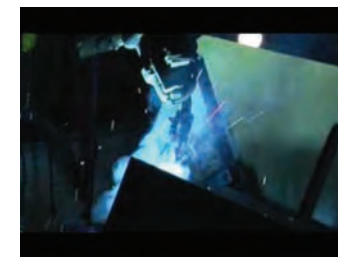


一般的なCO₂溶接 <溶滴移行のイメージ> REGARC™

従来法と REGARC™ のスパッタ比較



一般的なCO₂溶接のスパッタ



REGARC™ 溶接のスパッタ

2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション

株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

制御方法を最適化し、REGARC™ の電流範囲の拡大と低スパッタ化を実現

NEW REGARC™ の特長

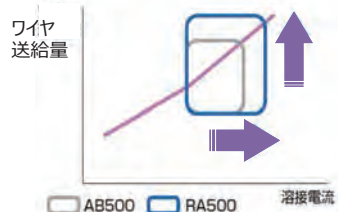
ピーク電流・パルス周波数の制御方法の最適化



さらなる溶接電流域の拡大と低スパッタ化を実現

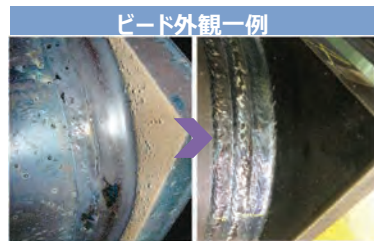


高電流域まで拡張



320A(16m/min)⇒340A(18m/min)

低スパッタ化



従来法(CV) NEW REGARC™

拡大した溶接電流範囲を活用し、コラム溶接において生産性の向上を実現

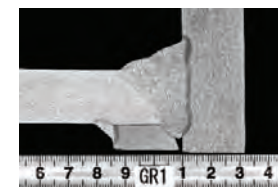
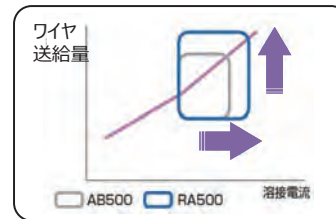
高能率溶接施工条件特長

パス数・各パスの上限入熱を既存溶接条件と同等に機械性能を満足できる範囲で溶接速度を向上



溶接結果例

板厚 [mm]	開先角度 [°]	ルートギャップ [mm]	引張試験 引張強さ [MPa]	シャルピー衝撃試験			積層 8パス
				部位	ノッチ位置	吸収エネルギー Avg. [J] 試験温度0℃	
19	35	6	632	平板部	WM	93	6層
				角部	WM	93	



非溶接時間の短縮もあわせて、サイクルタイムを10%以上短縮

鉄骨製作・橋梁製作の最先端 溶接ロボットの動向・展望

1 建築鉄骨向け溶接ロボットシステム

- ・システムの特長、システム事例、低スパッタ溶接プロセスREGARC™
- ・新技術、新商品の紹介

2 橋梁向け溶接ロボットシステム

- ・システム例と自動プログラミングソフト
- ・溶接の特長

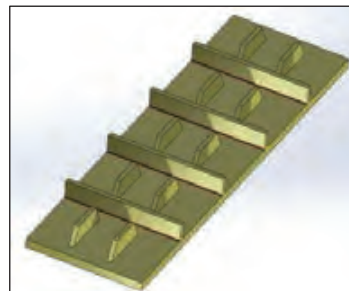
3 生産支援システム

- ・生産支援ソフトウェア ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT
- ・ARCMAN™ View

専用システムを構築し、設計データを活用した自動化システム

対象ワークの特徴

- ・一品一様
- ・すみ肉溶接が中心
- ・高い溶接品質

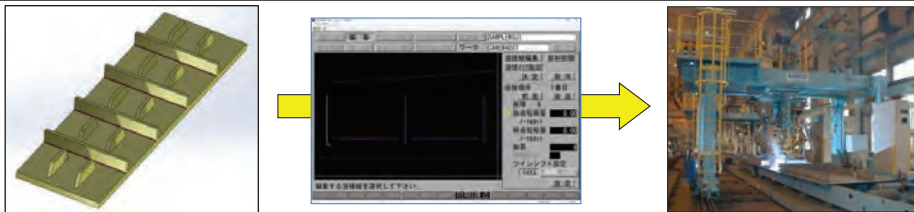
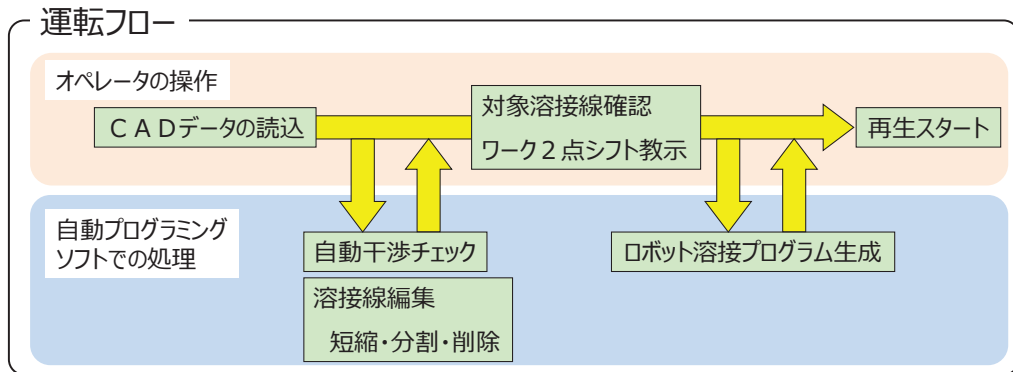


溶接ロボットシステム一例



対象ワークに対してロボットが上からアプローチする門型システムを構築

設計データから溶接プログラムを生成し、溶接自動化を実現



2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション 株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

鉄骨製作・橋梁製作の最先端 溶接ロボットの動向・展望

- 1 建築鉄骨向け溶接ロボットシステム
 - ・システムの特長、システム事例、低スパッタ溶接プロセスREGARC™
 - ・新技術、新商品の紹介
- 2 橋梁向け溶接ロボットシステム
 - ・システム例と自動プログラミングソフト
 - ・溶接の特長
- 3 生産支援システム
 - ・生産支援ソフトウェア ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT
 - ・ARCMAN™ View

2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション 株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

自動プログラミングソフトによる安定した溶接品質の実現

シフト溶接

2台が対となるが、シフトさせて両側から溶接対気孔欠陥性の向上

角巻き溶接

アークOFF後、ワイヤタッチセンサをして、終端側の角巻き溶接を実施

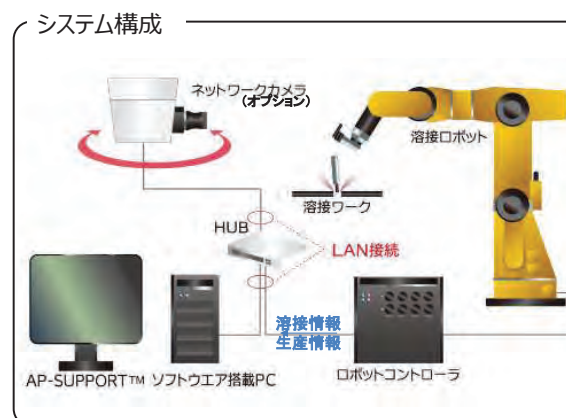
吊環のような短い溶接線にも対応
編集ソフトウェアを用意しており、溶接条件の変更が可能

2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション 株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

生産性向上を支援

- ・生産の見える化を実現
- ・生産情報や溶接情報を自動収集／解析しお客様の生産課題を抽出
- ・カメラを追加することで、データだけでなく、映像による見える化を実現

生産レポートの出力



2024年11月14日 鋼構造シンポジウム2024特別セッション 株式会社神戸製鋼所の了解なしに、本書の一部または全部を復写、転載、転用したり第三者に貸与することはご遠慮ください。

カメラを利用した生産の見える化を提供

動画を活用することで、生産状況の分析のさらに詳細な確認が可能

- ロボット先端をカメラが追従
カメラ映像をリアルタイムに表示
(最大4台)
- 動画撮影を検索し再生
エラーや溶接時のログから検索
- ソフトウェア
画質設定、カメラ操作等



ロボットプログラムの修正など、生産性向上、安定生産への活用が可能

以上

建設の自動化 無人施工
ロボット施工の拡大の可能性
ー建設 RX コンソーシアム設立 目的、
活動、展望の概要

多葉井 宏

建設の自動化 無人施工 ロボット施工の拡大の可能性 ー建設RXコンソーシアム設立 目的、活動、展望の概要

(株)竹中工務店
技術研究所
多葉井 宏

建設業就業者数の推移

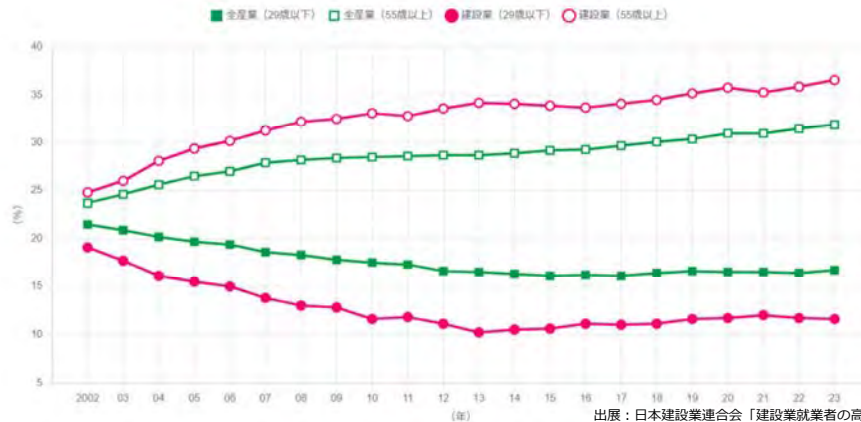
技能職は長期的に減少を続けて2023年には307万人となった。



出展：日本建設業連合会「職種別就業者数」

建設業の高齢者・若年者比率

2023年には55歳以上が約36%、29歳以下が約12%となり、全産業と比べ高齢化が著しく高くなっている。



出展：日本建設業連合会「建設業就業者の高齢化の進行」

建設業の生産性や魅力を高めるために

Robotics transformation

Construction
RX



※画像はBing Image Creatorで生成

コンソーシアム設立の目的

5

ねらい

- 同じようなモノを開発していた重複をなくす
- どのゼネコンの現場でも使えるようにする
- 循環を生み出す (つかう・つくる・やすく)

対象

建築の施工に関するロボット・機械装置・
ソフトウェア・IoT技術
(生産性と魅力を向上させる技術)

方法

- (1) 新規技術の共同研究開発
- (2) 既存技術の相互利用・機能向上・改良

設立以降の会員数推移

6

3社 2020年10月～ 3社連携



73社 2022年4月 総会



16社 2021年9月 RXコンソ設立

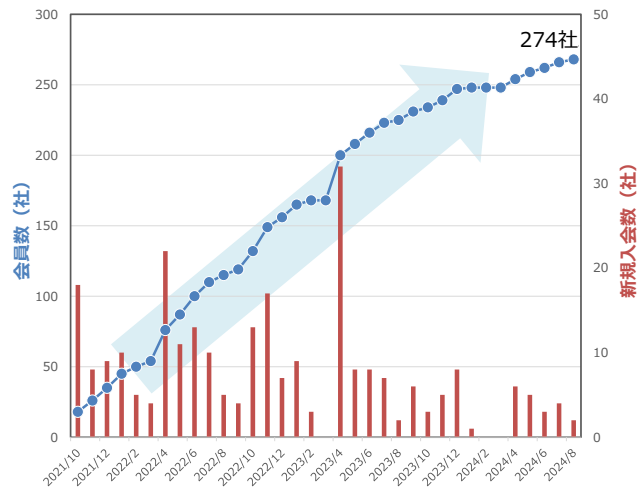


263社 2024年7月 総会

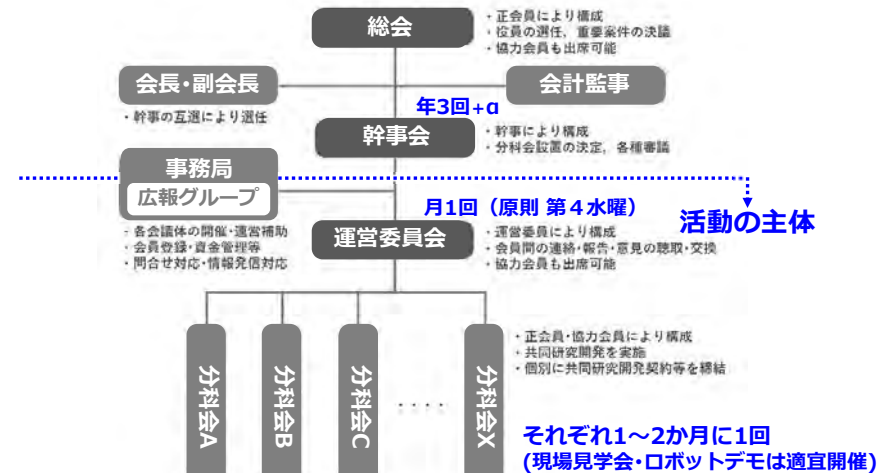


設立以降の会員数推移

7



建設RXコンソーシアム 組織



8

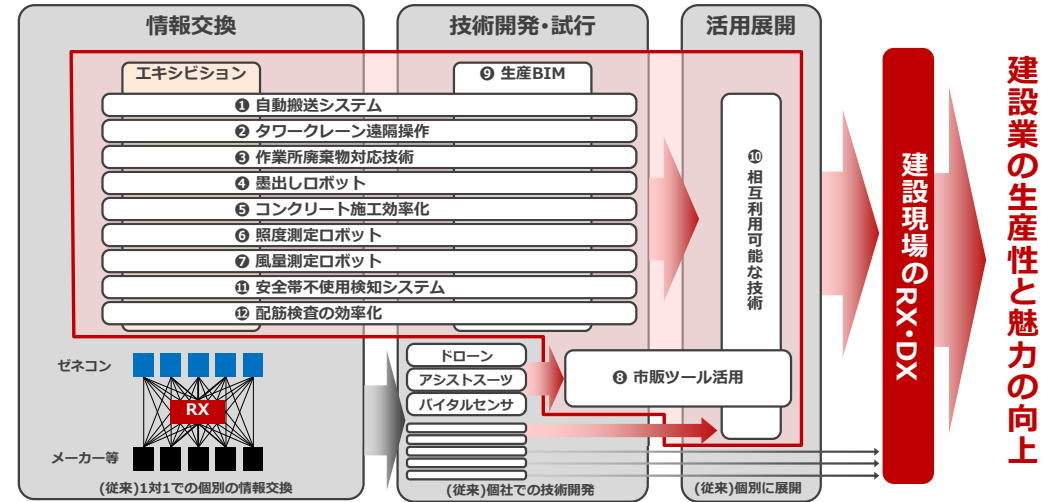
エキシビション2022 (600㎡：建築会館)



エキシビション2023 (850㎡：東京国際フォーラム) 日経クロステックNEXT内



資材の自動搬送システム分科会



取り組み背景

- 建設工事において多種多様な資材を必要とときに必要な場所まで遅延なく供給することが工程管理上非常に重要
- 建設現場内の資材搬送は、作業員にとって付帯作業
- 資材搬送を自動化することで、より高いスキルが必要な主作業に携わる時間を増やし生産性を向上させる



工事用EVへの資材積み込み



指定箇所への資材の運搬

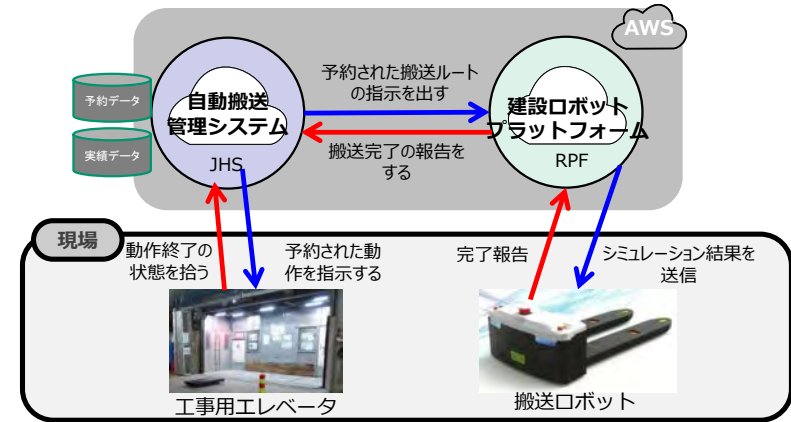
資材の自動搬送システム分科会

- ゼネコン各社がこれまで開発してきたシステム・ロボット・搬送装置間でフレキシブルな連動
→ロボット等をどのゼネコンの現場でも使えるように
- 企業間での開発・試行・フィードバックを通じた自動搬送システムの実用化



13

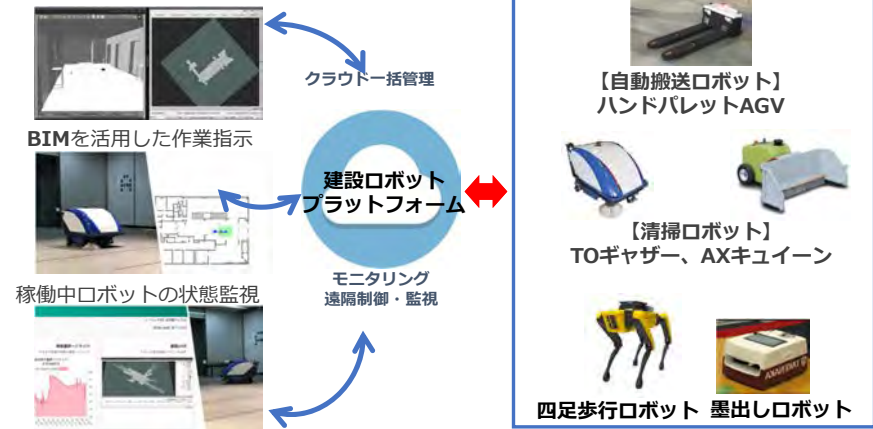
中核に位置付けている自動搬送システム



14

建設ロボットプラットフォーム

BIMでの経路シミュレーションとロボット用地図作成

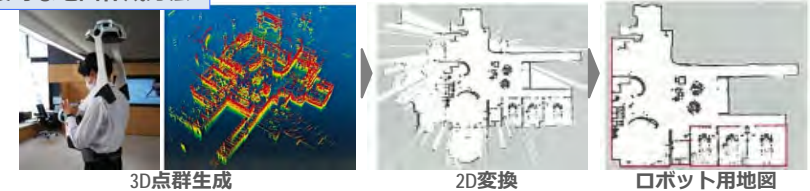


15

建設ロボットプラットフォーム

建設ロボットプラットフォーム (RPF) - BIMを用いたロボット用地図作成

一般的な地図作成方法

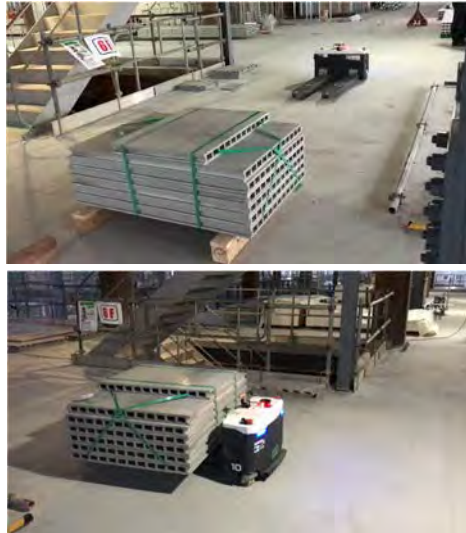


RPFによる地図作成方法



16

建設現場での試行状況



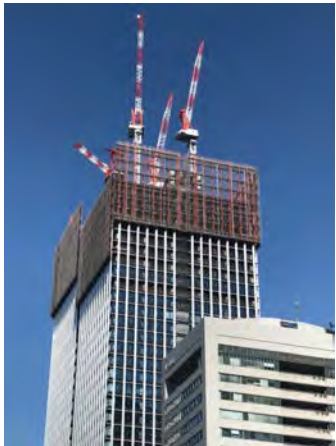
17

タワークレーン遠隔操作分科会

18

タワークレーン遠隔操作分科会

タワークレーンの様子と現状の課題



①タワークレーンのオペレーター不足
→「魅力ある職種に」

②運転席まで約50mの垂直昇降、1日中上部で拘束
→「身体的負担軽減」「作業環境の改善」

③施工会社からのオペレーター技量不足による交代要請
→「未経験・技量不足者への技術伝承、技量向上」
「熟練を必要とする作業」

【その他】
孤独感、身近に相談者いない、高所が苦手、地方オペレータの出張困難、
食事トイレ不便、育児等急な早退や対応が困難、地震災害等の不安

19

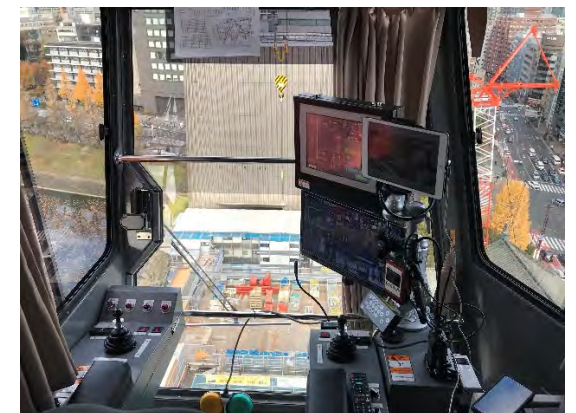
タワークレーン遠隔操作分科会

現状のタワークレーン操縦席の様子

運転席位置



運転席内部



20

タワークレーン遠隔操作分科会

現状の課題を解決する遠隔操作クレーン



タワークレーン遠隔操作分科会

遠隔操作クレーンコックピットの種類



簡易コックピット

専用コックピット
(通称egg)

タワークレーン遠隔操作分科会

実際のクレーンと同様に運用が可能



- ・ 高所・閉所からの解放
- ・ WLB改善
- ・ 若手への指導・育成
- ・ 夜間工事対応
(海外オペレータ時差利用)

【伝送速度】

動作信号並びにカメラ映像

伝送速度遅延は**0.3~0.5sec**以下

今後の展望

建設業界だけでなく、幅広い異業種の技術・サービスの導入が鍵

協調領域としてゼネコンを始め多様な企業が集結・協力

全国津々浦々の建設現場において、作業員が簡単にロボットを使える世界へ





赤外線計測に基づく長大鋼橋梁の 非破壊評価技術

阪上 隆英

2024年11月14日

赤外線計測に基づく長大鋼橋梁の 非破壊評価技術



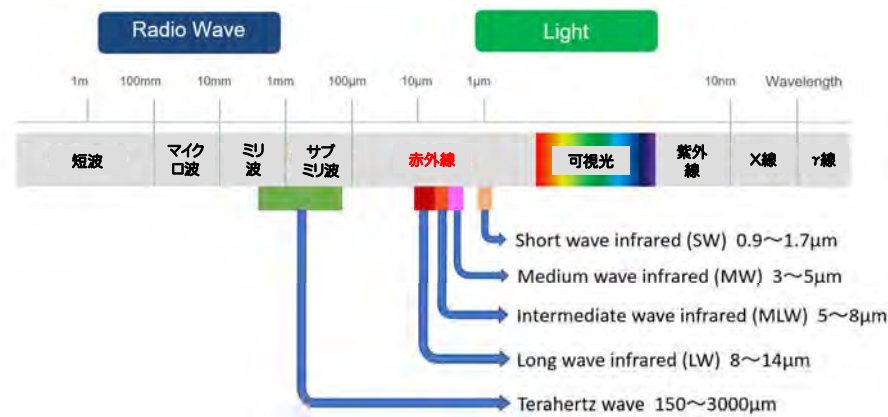
阪上隆英
神戸大学工学研究科 教授



共同研究者
塩澤大輝 (神戸大学)
小川裕樹 (広島大学)
横井 芳輝, 杉山 剛史(本州四国連絡高速道路株)
溝上 善昭(本四高速道路ブリッジエンジ株)

赤外線計測の特長

1



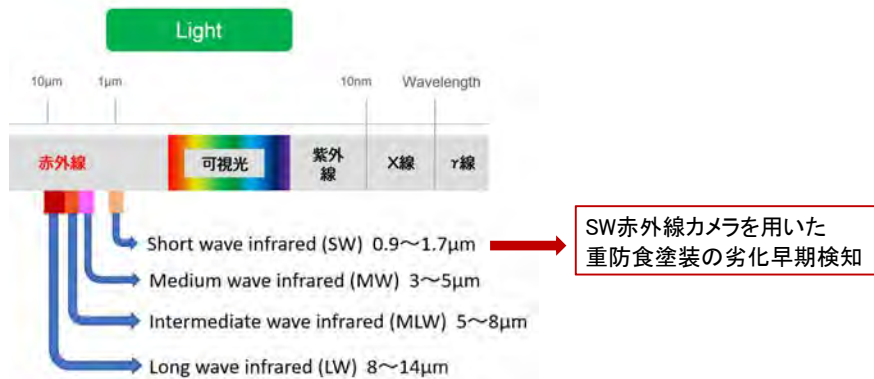
各波長域の電磁波(赤外線)が持つ,放射,反射,透過,吸収などの特性を利用することで,新しい非破壊検査技術を開発できる可能性がある。

赤外線計測の特長

2

赤外線の光学的性質の利用

- ・可視域とは異なるモノの見え方での画像計測ができる
- ・対象物の分光吸収・反射・透過特性を活かした計測ができる

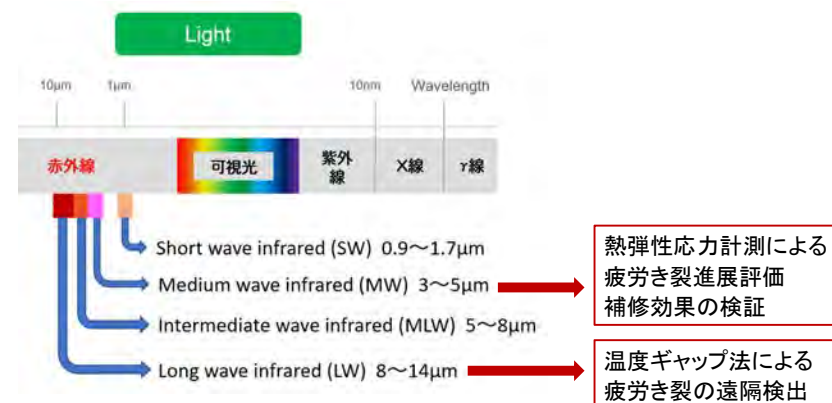


赤外線計測の特長

3

(熱)赤外線の利用

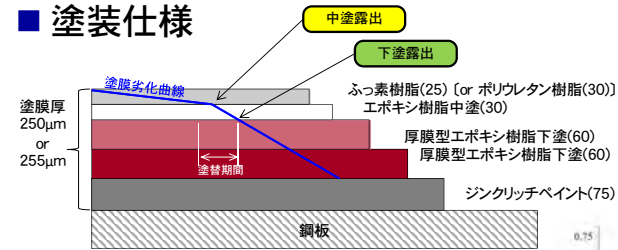
- ・対象物の表面温度を計測できる(赤外線サーモグラフィ)





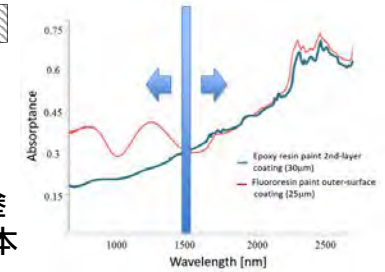
橋梁の重防食塗装と保全の考え方

■ 塗装仕様



■ 塗替塗装の基本的な考え方

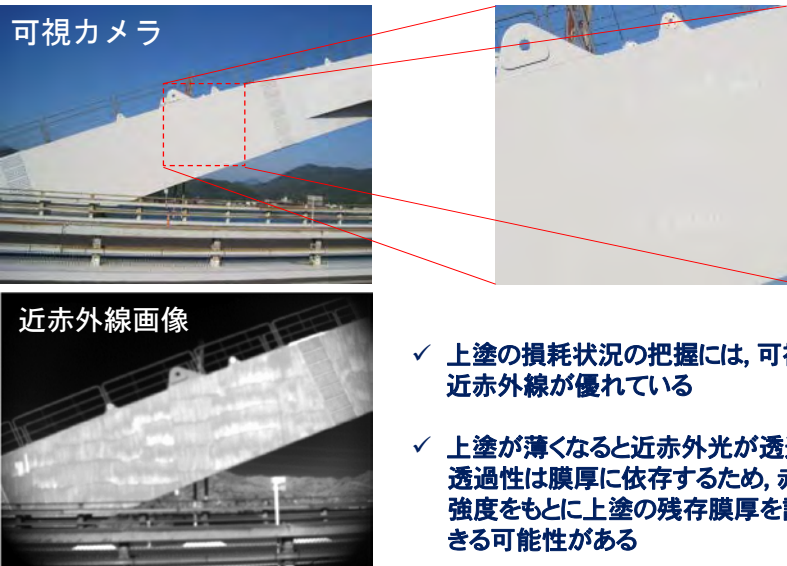
- 現場再施工が困難な犠牲防食層 (ジンクリッチペイント)を保護
- 塗替は, 下塗が露出する前に, 中塗と上塗を塗り替える予防保全を基本



中塗は上塗と似た色なので
目視では見分けが付きにくい

SW域の赤外線の利用
上塗と中塗の吸収の違いを
画像化する

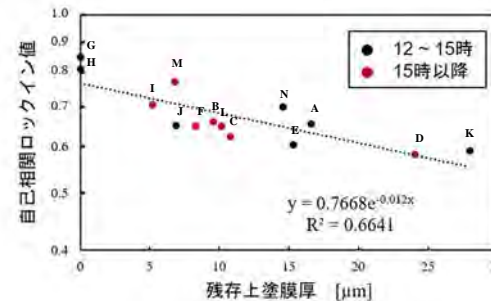
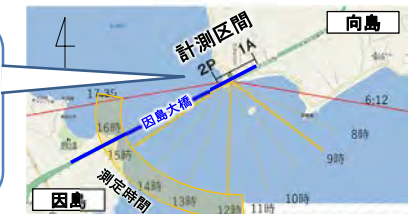
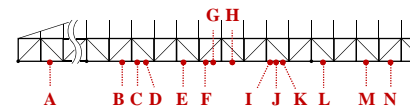
実橋梁での計測結果



- ✓ 上塗の損耗状況の把握には, 可視よりも近赤外線が優れている
- ✓ 上塗が薄くなると近赤外光が透過する透過性は膜厚に依存するため, 赤外線強度をもとに上塗の残存膜厚を評価できる可能性がある




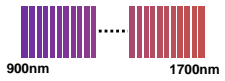
残存膜厚の定量評価 (実橋梁)

測定箇所: A~Nの計14箇所

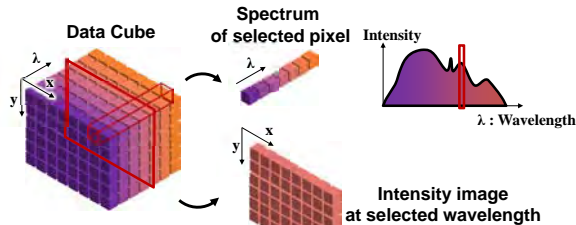


アクティブロックイン計測によって, 採光条件に影響されずに重防食塗装の残存上塗膜厚の定量的な評価が可能となった

一般的な赤外線カメラとの違い

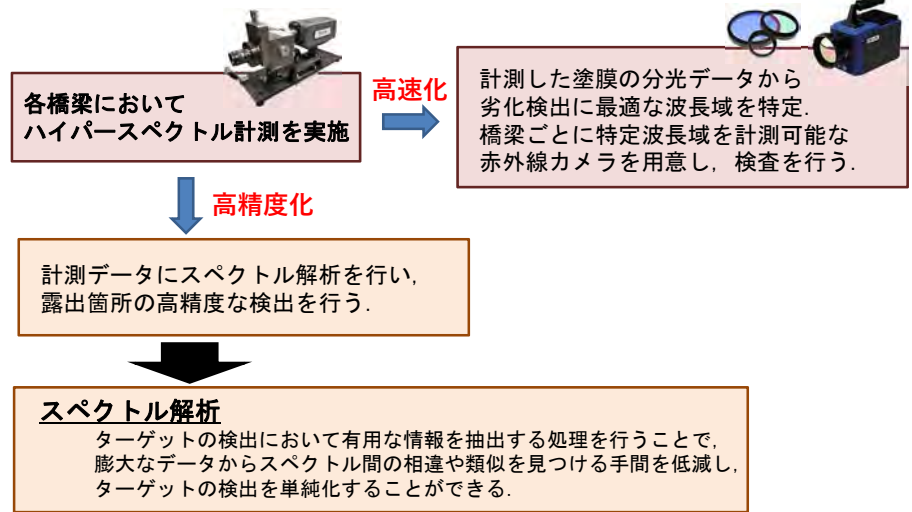
Infrared camera			感度波長領域全体で1バンドの情報
Hyperspectral camera			光を細かい波長域に分光し100バンド以上の情報

ハイパースペクトルデータの構造



ハイパースペクトルデータは空間の情報(x, y)と波長(λ)の情報で構成される。各ピクセルのスペクトルや各波長域の強度画像を取得することが可能。

ハイパースペクトルカメラを活用した塗膜の劣化検出の流れ



赤外線計測による長大鋼橋の
非破壊検査・非破壊評価

長大鋼橋に対する現状の非破壊検査法の問題点

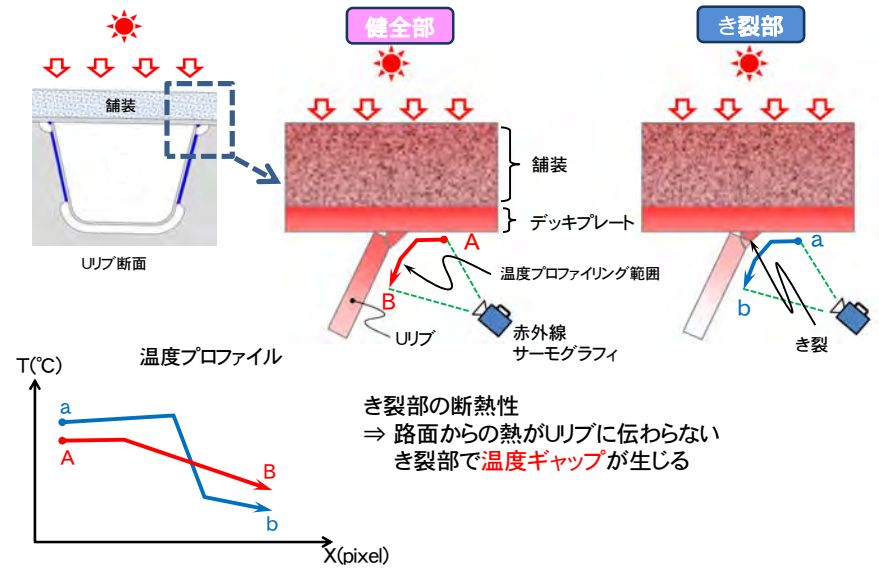
- ① 目視点検による塗装割れ, 錆汁の検出
遠望目視 → 精度面で信頼性に欠く
近接目視 → 接近のための足場が必要
非効率・高コスト
塗装割れが疲労き裂によるものか不明
- ② 磁粉探傷 → 接近のための足場が必要
塗装の除去が必要
非効率, 高コスト, 低頻度
- ③ 構造健全性が評価できない
き裂に作用する力学状態が未知
→ き裂先端近傍の応力分布を実測して
き裂進展評価を行う必要性





温度ギャップ法によるき裂検出

13



温度ギャップ法によるき裂検出実験

16

長さ80mmの疲労き裂検出データ

[赤外線画像]

目視: 塗膜割れあり
ただし近接時のみ検出可

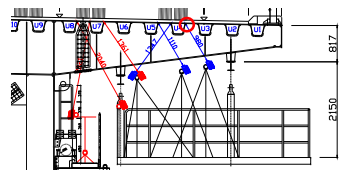
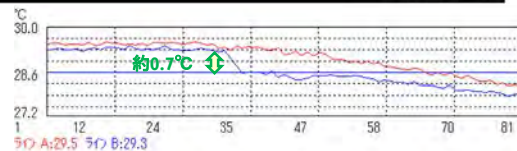
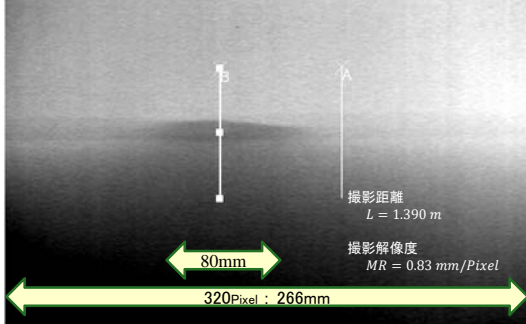
[外観: MT前]

塗膜割れの状況(汚れふき取り後)

[MT]

塗膜割れ区間

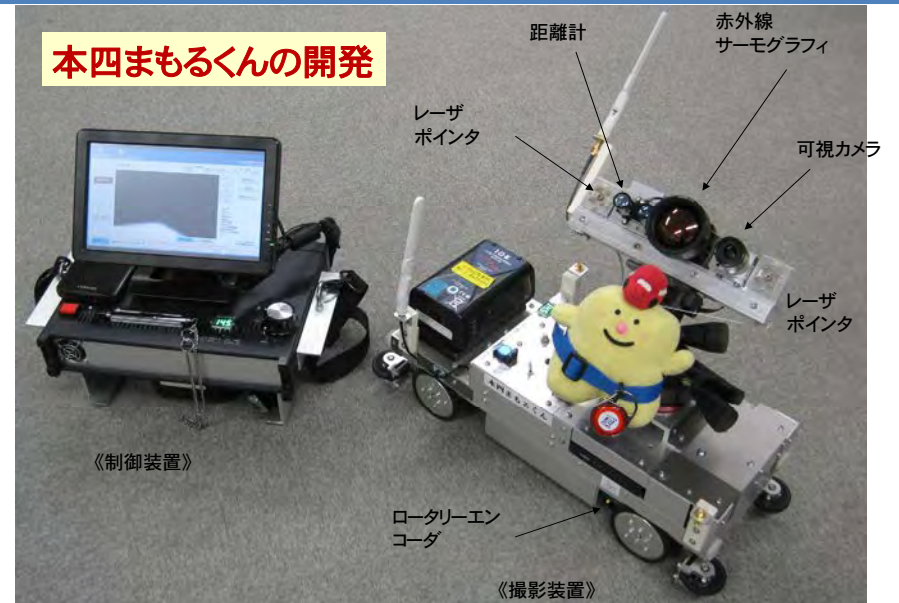
亀裂長さ: 80mm



温度ギャップ法によるき裂検出自動化システム

17

本四まもるくんの開発





熱弾性応力計測による 疲労き裂進展評価 補修効果の検証

熱弾性応力計測

断熱状態の固体に引張応力を作用させればその応力変動に比例した温度降下が、逆に圧縮応力を作用させれば応力変動に比例した温度上昇が生じる。

固体に対する熱弾性効果の基礎式

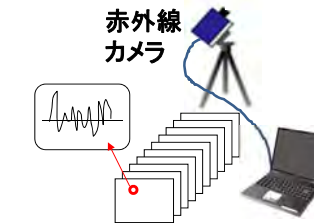
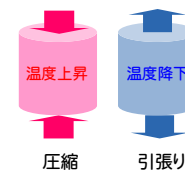
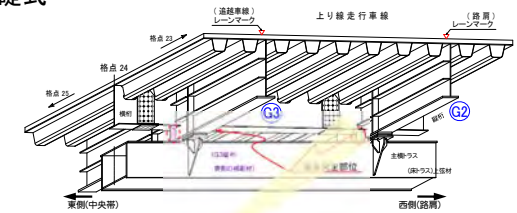
$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho C_p} T \Delta \sigma = -k T \Delta \sigma$$

α : 線膨張係数, ρ : 密度

C_p : 定圧比熱

k : 熱弾性係数

$\Delta \sigma$: 主応力の変動振幅



遠隔・非接触での
実働応力分布測定

き裂進展性の評価



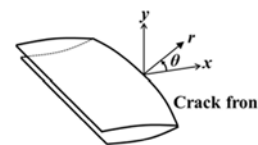
実働荷重下でのき裂付近の力学状態の実測値をもとに
き裂進展駆動力を表す破壊力学パラメータを評価する

↓
き裂進展速度を予測する

↓
対策の緊急度の評価・補修計画の立案ができる

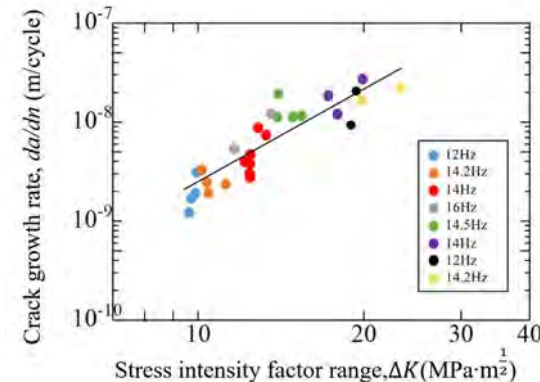
↓
補修対策後の残存強度回復効果の検証ができる

き裂進展速度と破壊力学パラメータの関係



$$\sigma_r + \sigma_\theta = \left(\sqrt{\frac{2}{\pi r}} \cos \frac{1}{2} \theta \right) K + C_2 + \left(\sqrt{r} \cos \frac{1}{2} \theta \right) C_3 + \dots$$

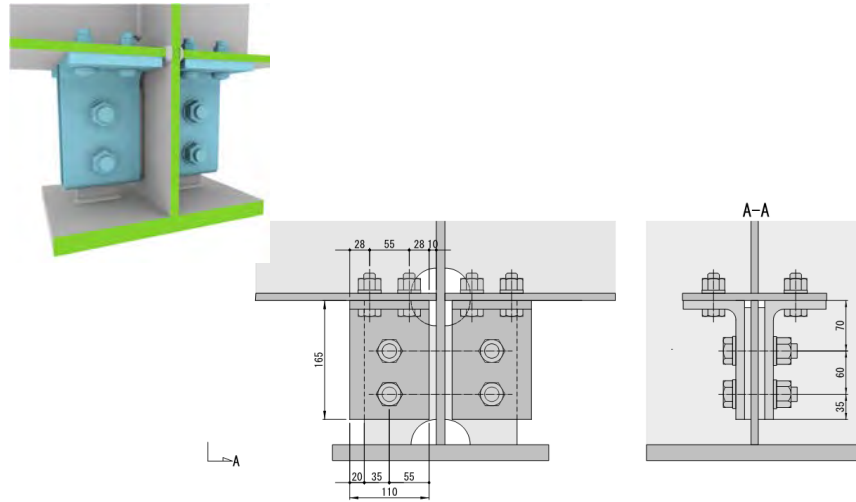
き裂先端近傍の応力分布から破壊力学パラメータ
(応力拡大係数範囲 ΔK)を算出し、き裂進展速度との
関係を求めた



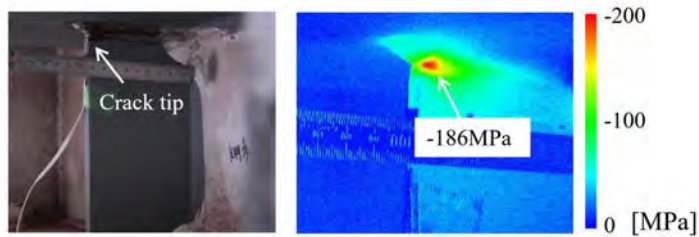
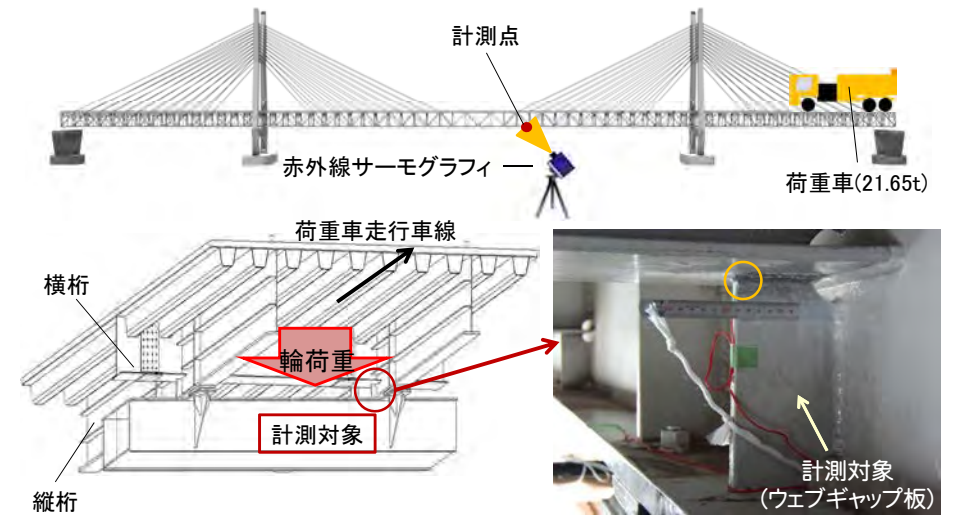
$$\frac{da}{dn} = C \Delta K^m$$

$$C = 1.45 \times 10^{-12}$$

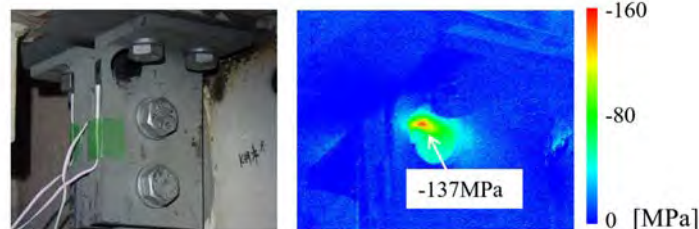
$$m = 3.21$$



実橋梁の走行車線を荷重車が80km/hで走行
計測点直上を通過した時の応力変動を計測

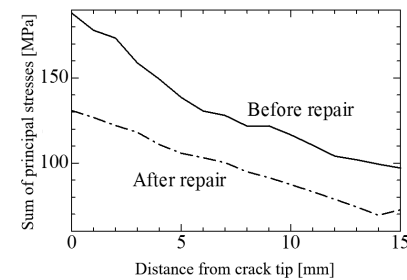


(a) Stress distribution before repair



(b) Stress distribution after repair (fatigue crack remaining)

き裂先端付近の応力分布



破壊力学パラメータの算出
補修前 $\Delta K = 14.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$
補修後 $\Delta K = 10.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

き裂進展速度

補修前 $7.25 \times 10^{-9} \text{ m/cycle}$
↓ 約59%低減
補修後 $2.94 \times 10^{-9} \text{ m/cycle}$



ご清聴ありがとうございました



自律飛行型斜張橋ケーブル点検ロボット

中村 聖三

自律飛行型 斜張橋ケーブル点検ロボット

長崎大学大学院 工学研究科
中村 聖三

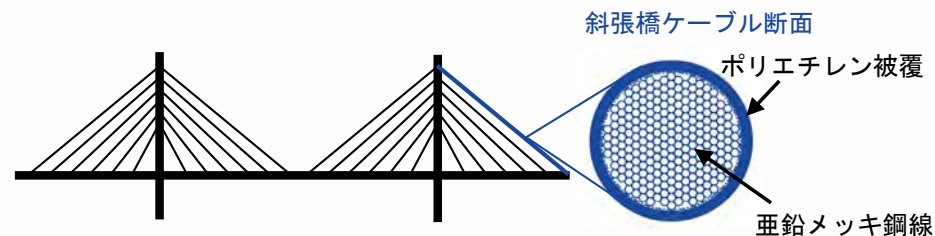


Graduate School of Engineering, Nagasaki University, Japan

1. はじめに

▶ 斜張橋ケーブル

- 主塔と主桁を繋ぎ1本毎の張力バランスにより橋全体の形状を保持している重要な部材
- 鋼線をポリエチレン製などの被覆材で防錆する構造
- 非常に高所に設置される部材 → 足場もなく点検が困難



▶ 法令改正

- 平成26年度に橋梁の全部材に対し、5年に一度の頻度で近接目視を基本とした点検の実施を義務付け

1. はじめに

▶ 従来の点検方法

高所作業車

- 高所作業車を橋面に設置するため道路規制が必要
- 適用範囲は高さ30m程度まで



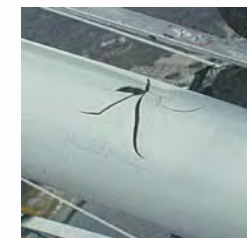
ロープ高所作業

- 安全性確保のため道路規制や通行止めが必要
- ケーブル1本毎に降下作業や後片付けが必要であり点検に要する期間が長く高価



1. はじめに

▶ ケーブルの損傷



安全かつ迅速な点検が可能なロボットを開発

2. 開発したシステムの概要

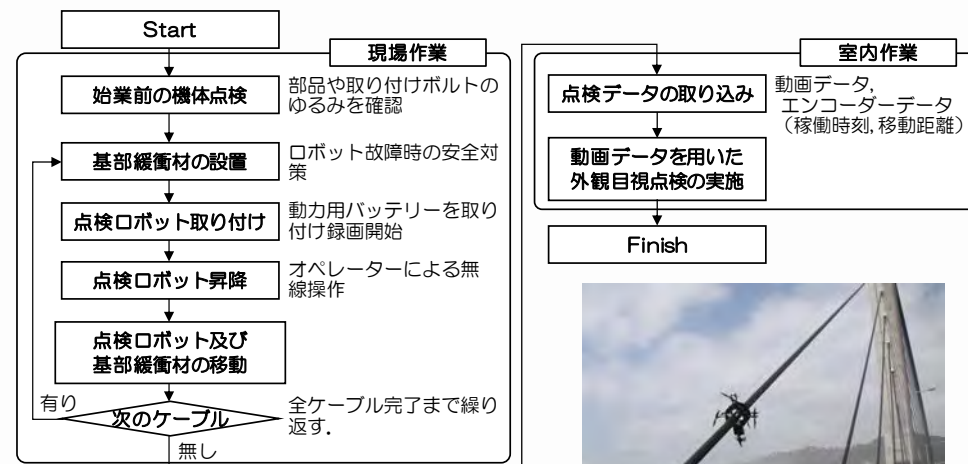
2.1 点検ロボット

- 点検対象のケーブルを**強固なフレーム**で取り囲む構造
- フレーム外側には**4つのプロペラ**
- 内側に**8輪のガイドローラー**を配置
- プロペラの推力**によって上昇下降
- カメラを上下左右に**4台設置**
- ケーブル**表面全周を全長にわたり**動画撮影



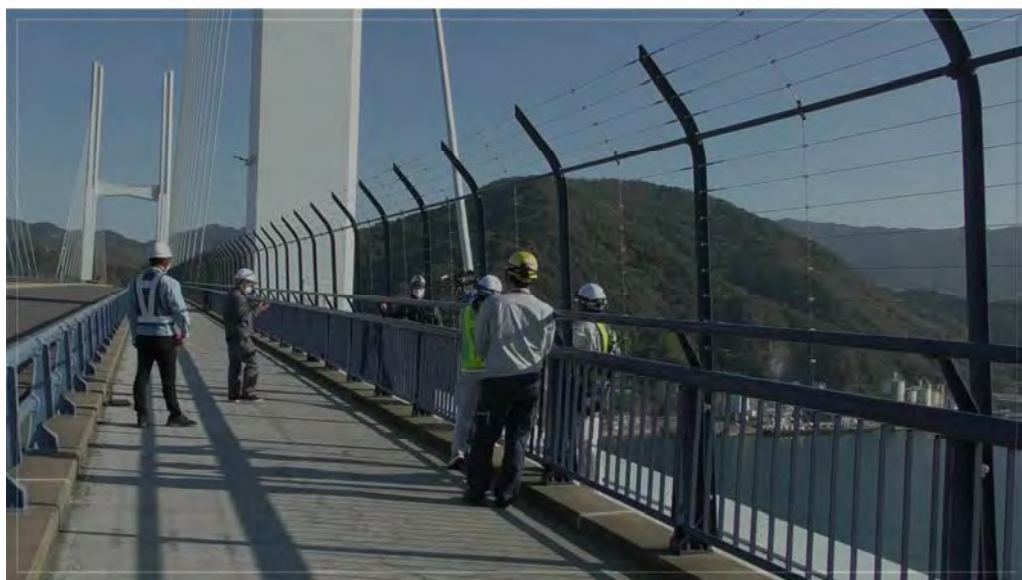
2. 開発したシステムの概要

▶ 作業手順



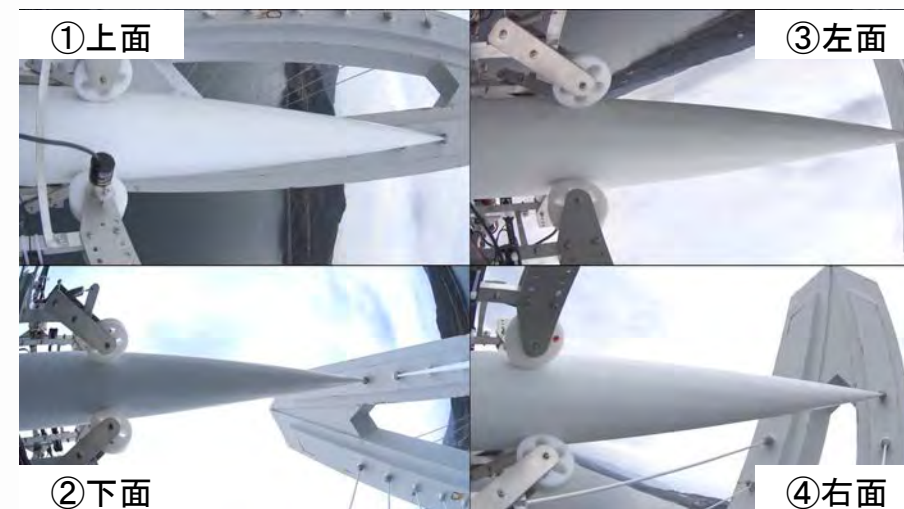
2. 開発したシステムの概要

▶ 点検状況



2. 開発したシステムの概要

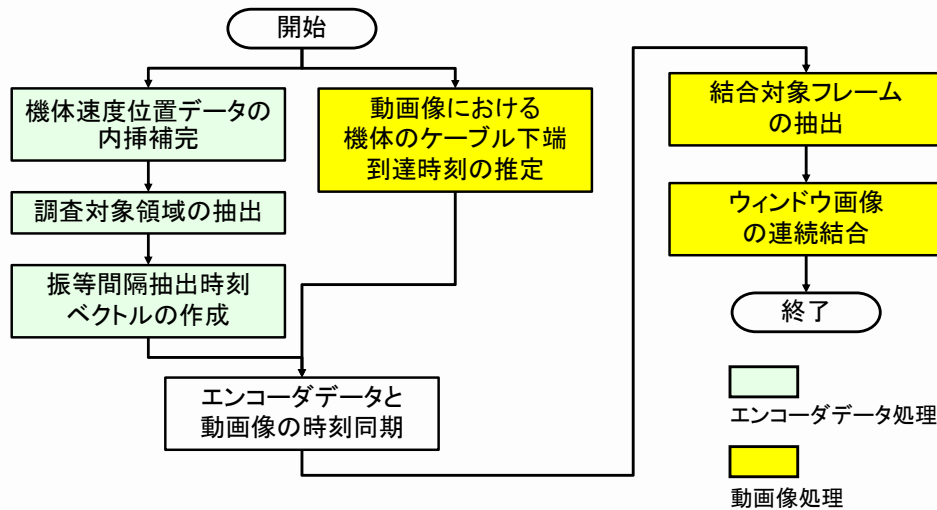
▶ 撮影動画からのキャプチャ画像の一例



2. 開発したシステムの概要

2.2 画像処理システム

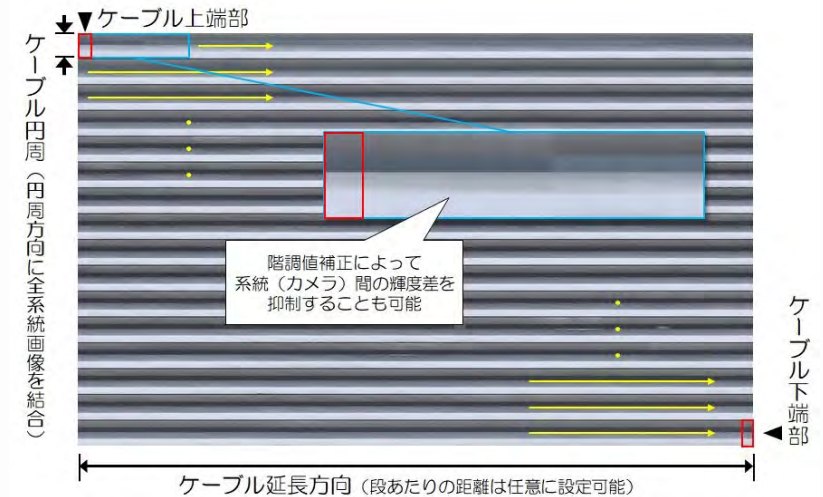
- ケーブル展開画像の作成



2. 開発したシステムの概要

2.2 画像処理システム

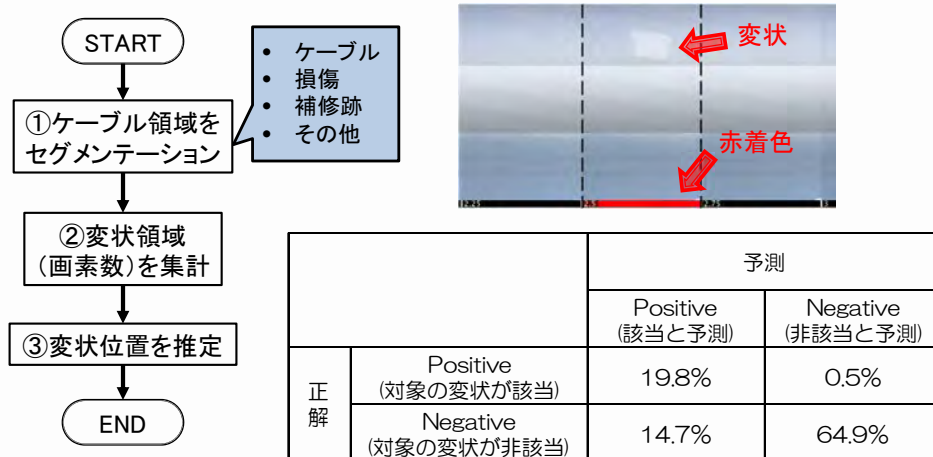
- 展開画像(階調値未補正)の一例



2. 開発したシステムの概要

2.2 画像処理システム

- 変状自動検出・識別 (プロトタイプ)
 - ネットワーク: DeepLabV3Plus, 学習画像: 1664枚



3. 適用事例

3.1 発見された損傷事例

分類	損傷写真	原因推定	備考
汚れ		雨水など	
防食機能の劣化		雨水や紫外線による経年劣化	
補修跡の劣化		雨水や紫外線による経年劣化	
変形・欠損(表面傷)		施工中の重機等の接触等	

3. 適用事例

3.1 発見された損傷事例

分類	損傷写真			原因推定	備考
保護管のフレ				グラウト注入口からの雨水浸入による内部鋼線の腐食	グラウト注入口周辺に発生
				落雷	保護管外面のフッ素樹脂被覆の損傷

3. 適用事例

3.2 開発システム適用による効果

◦ 女神大橋(ケーブル本数104本)の例

項目		本ロボット +画像処理	本ロボット	ロープによる近接
日数	現地作業	11日 / 2名 (0.21)	11日 / 2名 (0.21)	52日 / 2名 (1.00)
	画像 チェック	6日 / 2名	13日 / 2名	0日
	合計	17日 (0.33)	24日 (0.46)	52日 (1.00)
交通規制		不要		必要 (現道・交差道路)
作業区分		昼間		夜間 (交通規制のため)

3. 適用事例

3.2 開発システム適用による効果

◦ 1日あたりの点検可能ケーブル本数

①ケーブル定着が歩道内: 22本/日



③ケーブル定着が幅員外: 12.8本/日



②ケーブル定着が中央分離帯内: 13.7本/日



④機体取付けにリフト車等が必要: 10本/日

4. おわりに

▶ 成果

- 斜張橋ケーブル点検を安全かつ迅速に実施可能な点検ロボットシステムを開発
 - ロボット本体
 - 画像処理システム(展開画像作成, 変状自動検出)
- 実構造物へ適用し, 適用性を検証
- システム利用による省力化効果を確認

▶ 課題

- 被覆に連続して突起等が施されているケーブルへの適用
- 補修跡等の大きな段差に乗り上げ動けなくなった場合の対策
- 変状の分類と精度向上
- 非破壊技術や様々なセンシングデバイスとの組み合わせ

謝辞

- ▶ (株)長大、協和機電工業(株)、長崎大学の共同研究として実施
- ▶ JSPS 科研費JP18H01513 の助成を受けた



衛星 SAR によるインフラモニタリング

久村 孝寛

鋼構造シンポジウム2024 特別セッション

衛星SARによるインフラモニタリング

2024年11月14日

日本電気株式会社

ビジュアルインテリジェンス研究所 主幹研究員

久村 孝寛 (くむら たかひろ) t-kumura@nec.com

人工衛星による広域多数のインフラ変位分析

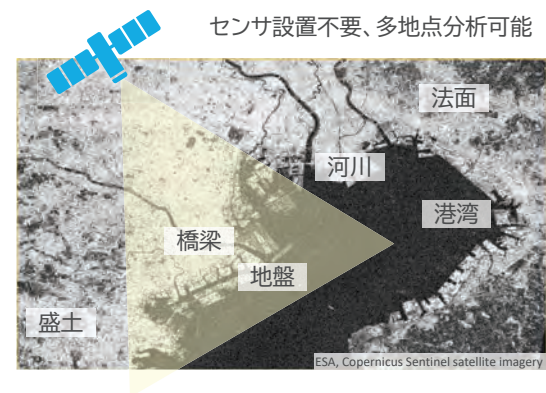
提案内容

- 人工衛星でインフラ構造物の変位を分析(モニタリング)
- 損傷程度変化の可能性を分析(スクリーニング)
- 定期点検の間をおぎなう

提供価値

- 重大損傷リスクの低減
- 点検・修繕の予算平準化

※SIP第3期スマートインフラマネジメントにて活動



人工衛星

放送・通信衛星、気象衛星

高度: 3万6千km

測位衛星(GPS, みちびき, など)

高度: 2万km

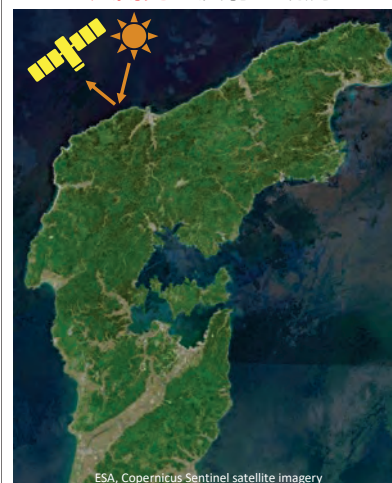
観測衛星

高度: 600~700km

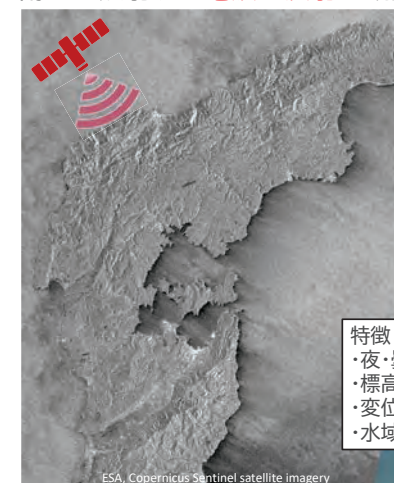


光学衛星、SAR衛星

太陽光の反射を観測



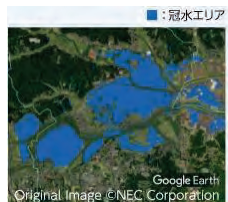
衛星が照射する電波の反射を観測



- 特徴
- 夜・曇りでも観測
 - 標高計測
 - 変位計測
 - 水域判別

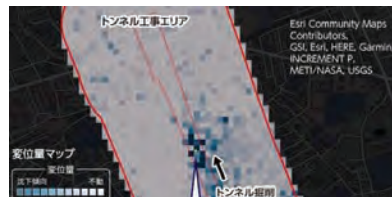
衛星SARを使ってできること

洪水冠水エリアの把握



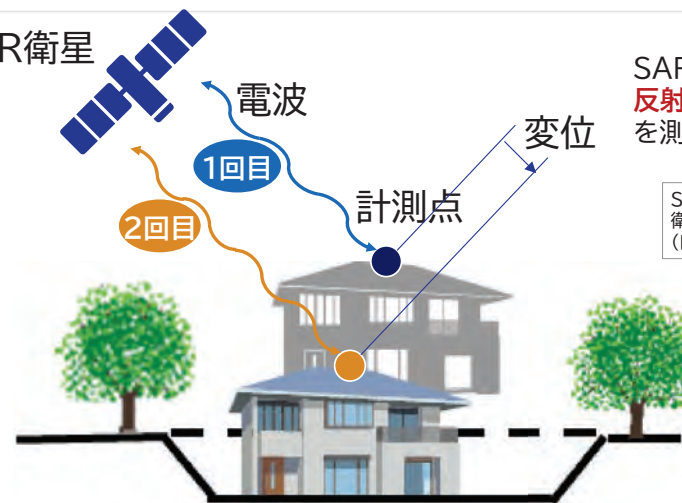
広域で地盤の経年変位を測る

トンネル工事地域の地盤の変位を測る



SAR衛星の変位計測原理

SAR衛星



SAR衛星が照射する電波の反射タイミングの差分で変位を測る

SAR衛星で直接計測される変位は衛星視線方向の変位 (LoS変位、Line of Sight)

衛星SARによるインフラモニタリング 注目ユースケース

長大な水管橋



変位の異常検知により、定期点検の間をおぎなう、重大損傷リスク低減につなげる

実証中

吊材破断などによる垂れ下がりを検知

有ヒンジPC橋



ヒンジ部の変位をモニタリング

実証中

長大な法面



動的なハザードマップ、土砂災害の事前検知、を可能にする

開発中

斜面の変位や歪をモニタリング

共通する技術課題 衛星による計測の精度とコスト、変位ベクトル

技術課題の解決方法

技術目標

人工衛星で微小変位を広域で分析



技術課題

1. コスト

→ 無償利用可能な人工衛星データを活用

2. 精度

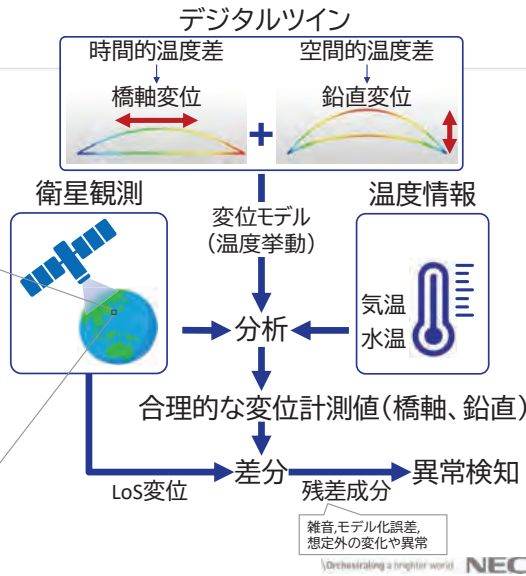
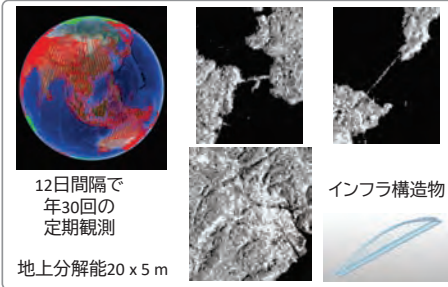
→ 多頻度計測とデジタルツインにより精度を確保

3. 変位ベクトル

→ 衛星観測とデジタルツインによりLoS衛星視線方向変位(LoS変位)から構造的変位を得る

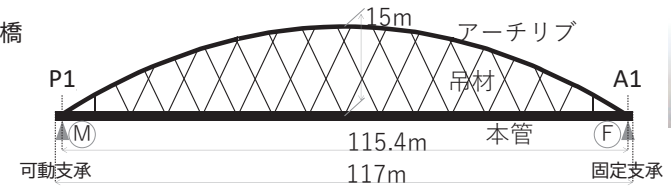
変位ベクトル分析

多頻度の衛星観測とデジタルツインによる変位モデルを使って変位ベクトルを計測

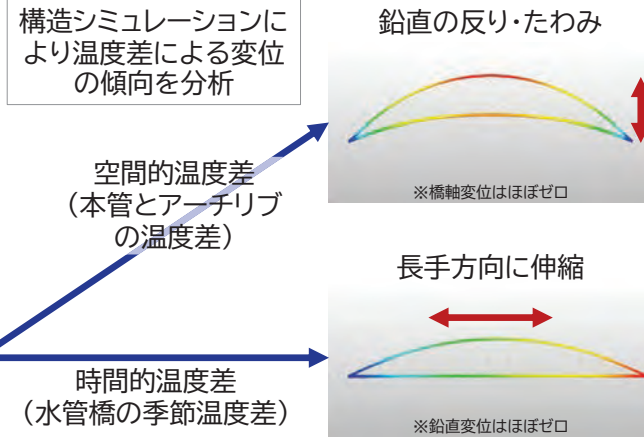
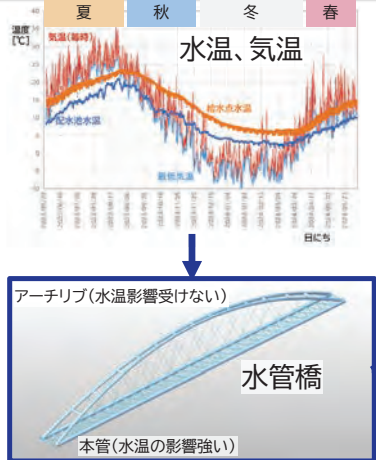


分析例 水管橋

札幌市水道局 豊平川第2水管橋
2径間 x スパン長117m
ニールセンローゼ形式



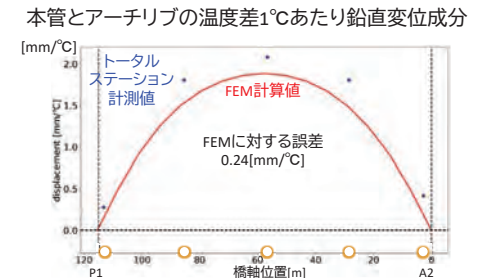
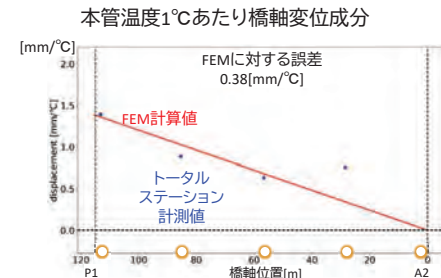
分析例 水管橋 構造シミュレーションによる温度挙動



分析例 水管橋 現地計測とFEMの比較

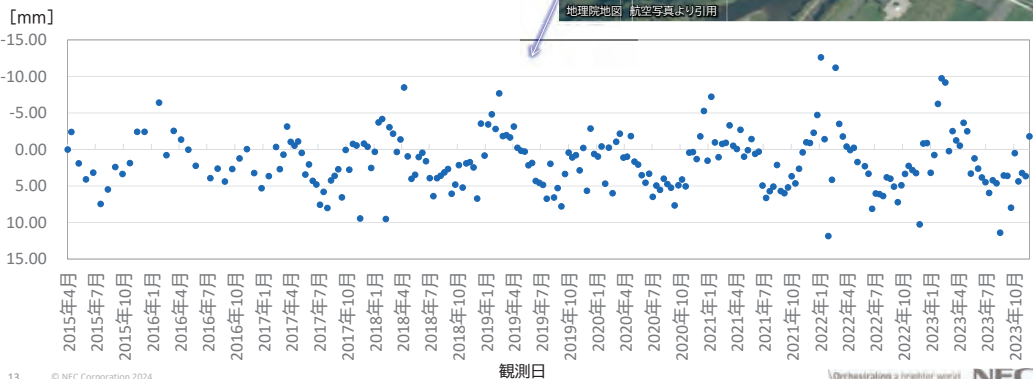
トータルステーションと温度ロガーにより本管の変位と温度を現地計測、計測値はFEMと傾向一致

計測日	気温(°C)	配水池水温(°C)	本管温度(°C)	アーチリブ温度(°C)
6月6日	12.1	9.9	10.3	11.1
8月9日	26.1	16.5	18.2	26.2



分析例 水管橋 LoS変位

SAR衛星	欧州宇宙機関 Sentinel-1A、衛星軌道:北→南
観測期間	2015年4月～2023年12月
観測時刻	午前5時半頃、
観測回数	計234回観測、基準観測日 2015年4月7日



分析例 変位ベクトル

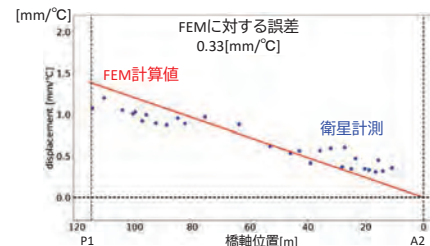
8年分234回の衛星観測、温度情報、で計測
バラツキあるものの、計測値はFEMと傾向一致

本管温度	配水池水温で代用
アーチリブ温度	気温で代用

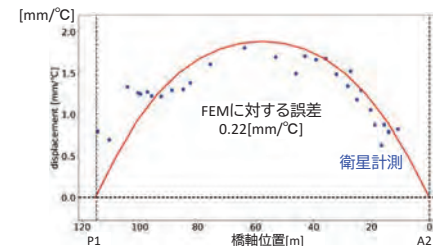
SAR衛星	欧州宇宙機関 Sentinel-1A、衛星軌道:北→南
観測期間	2015年～2023年
観測時刻	午前5時半頃
観測回数	計234回、基準観測日 2015年4月7日



本管温度1°Cあたり橋軸変位成分



本管とアーチリブの温度差1°Cあたり鉛直変位成分



まとめ

- ◆衛星SARによるインフラモニタリングの研究開発についてご紹介しました
- ◆コスト・精度・変位ベクトルの課題解決のための取り組み
- ◆内閣府が推進するSIP第3期への参画
- ◆水管橋を対象とする実証、精度評価
- ◆衛星計測の変位から温度挙動成分を引いた残差で変化や異常を検知