

全自動かつ高精度に換気・空調設備の風量を測定する
「Air-vo[®](エアボ)」の開発と展開

鹿島建設株式会社 建築管理本部 建築設備部 関 太介

自己紹介



鹿島建設株式会社 建築管理本部 建築設備部 企画グループ 主任

株式会社 OneTeam 設備事業部課長

「建設RXコンソーシアム」

照度測定ロボット分科会、風量測定ロボット分科会 主査

関 太介

鹿島国内支店にて複数の設備工事を担当

建築設備系R&D技術開発、各種合理化技術の現場展開を主導。

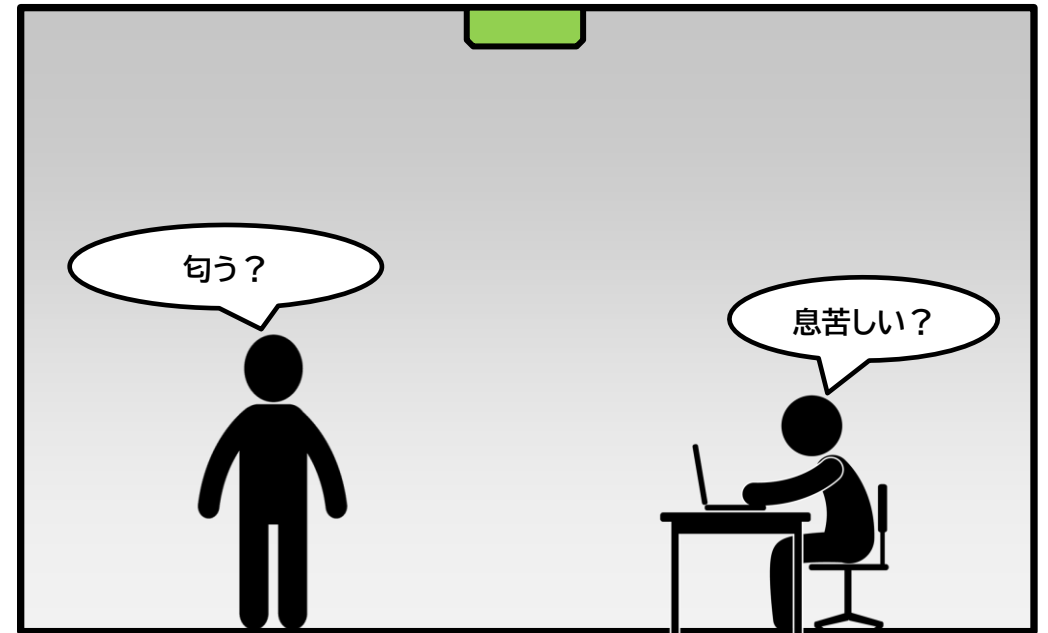
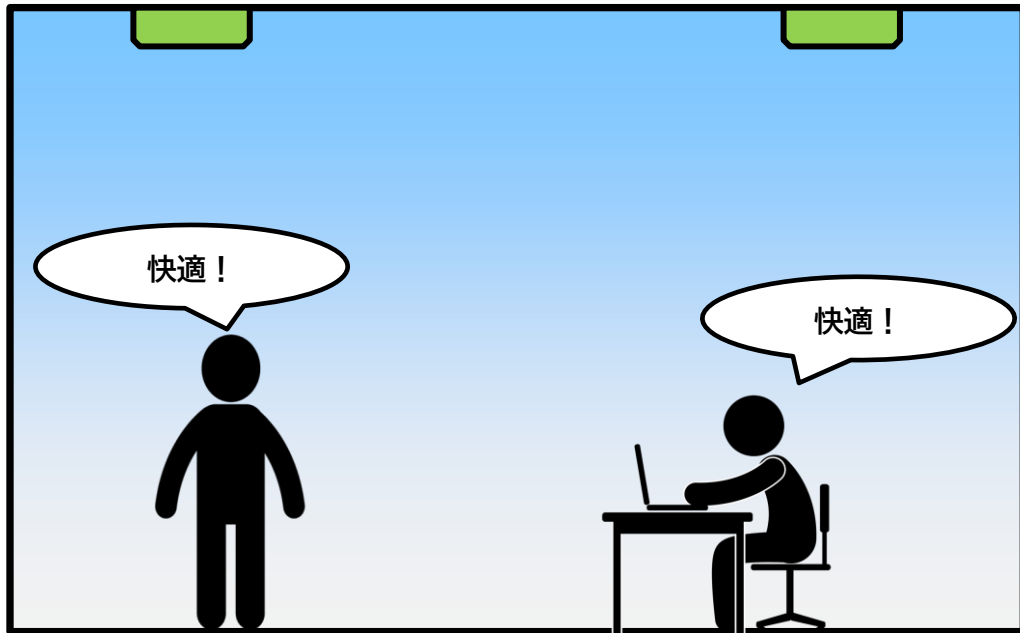
同社の建設現場のIT化を推進する(株) One Teamの設備事業部課長を兼務。

2023年より「建設RXコンソーシアム」の2分科会にて主査を兼任。

風量測定業務の現状と課題

風量測定業務について

- ◆安全かつ快適な環境を保つために、部屋の換気風量の測定が**法的に必要**になります。
- ◆それぞれの部屋が換気風量が満たされていないと、CO2濃度が高くなることやウイルスの蔓延など**居住域に悪影響**を及ぼします。



風量測定業務の課題

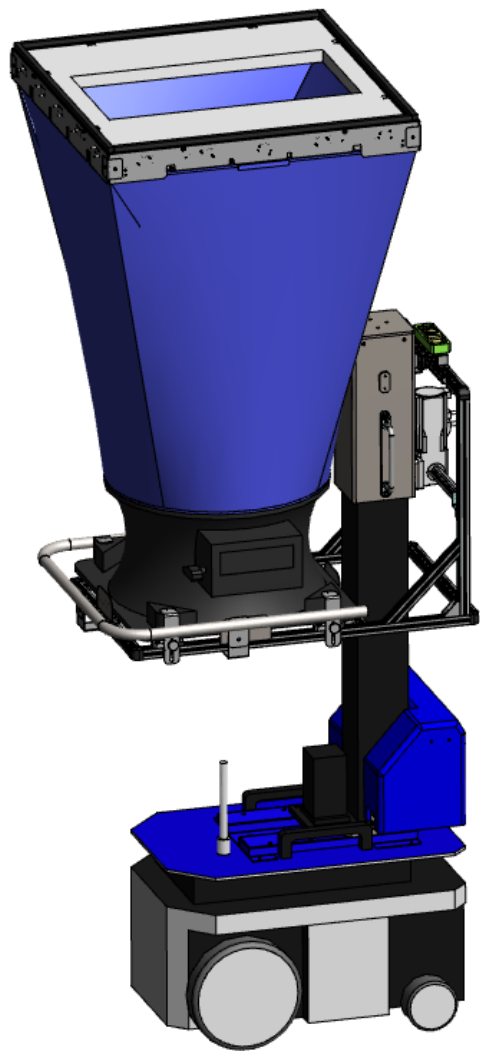
- ◆ 施工した**全範囲の測定作業**を行うため膨大な時間がかかる。
- ◆ 検査は建物が**完成する間際の、繁忙期**に行われる。
- ◆ 現場で測定した後、**事務所に戻って帳票**を作成しなければならない。



風量測定状況

風量測定業務は**比較的単純な大量のルーチンワーク**が発生している

風量測定ロボットの開発



ロボット開発のコンセプトとして

自走式ロボット

測定ポイントまで**自動**で走り

自動風量測定

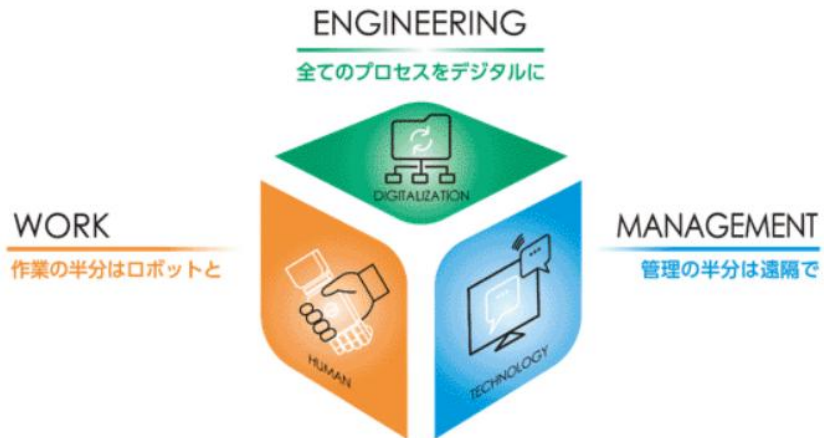
風量を**自動**で測定

自動検査帳票
作製

検査帳票を**自動**で作成

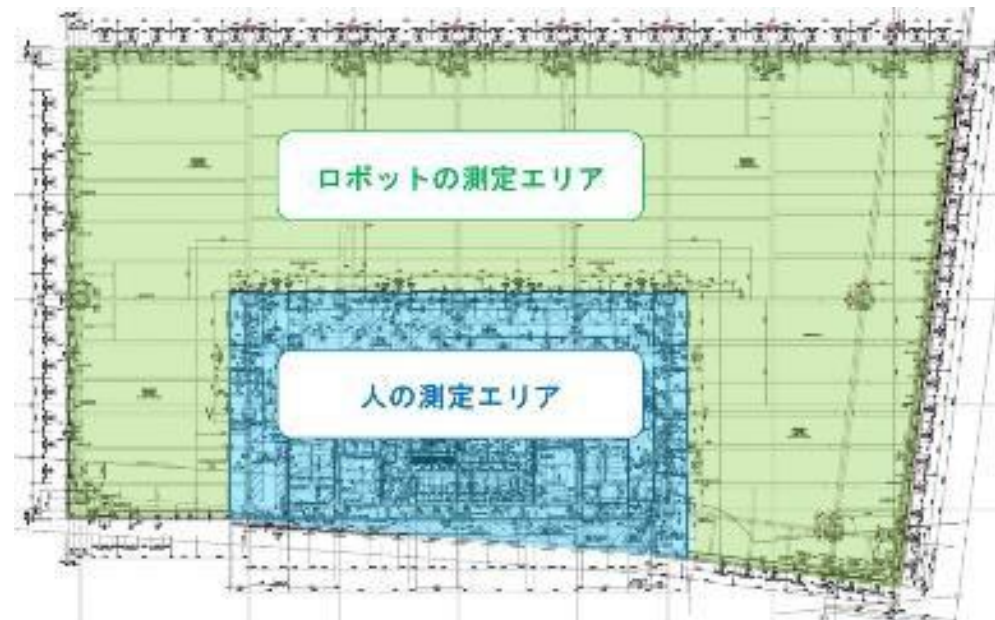
建築設備品質検査の一つである「風量測定」の測定・帳票作製の自動化

すべてをロボットではなく



作業の半分はロボットと

ロボットが得意な部分:ルーチンワーク
人が得意な部分:不定期的な細かい作業



人とロボットの共存により生産性を上げていく

風力測定ロボット
Air-vo™(エアボ)



00:01.25



ロボット開発・実用化に向けた改良

試作1号機の製作



■ ロボット動作 LiDARによる自己位置推定での動作

■ ロボットマップ BIM
測定結果とBIMデータの連携を目的

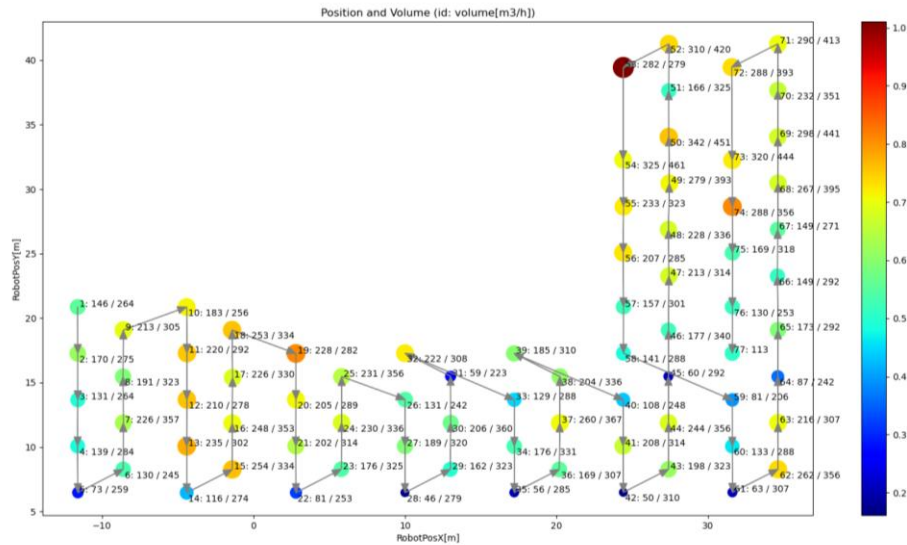
■ 風量計 日本カノマックス株式会社
キャプチャーフード風量計
フードサイズ 900×900

■ 想定建物用途 オフィスビル

■ 対応天井高 3.8mまで

試作1号機の試用実施

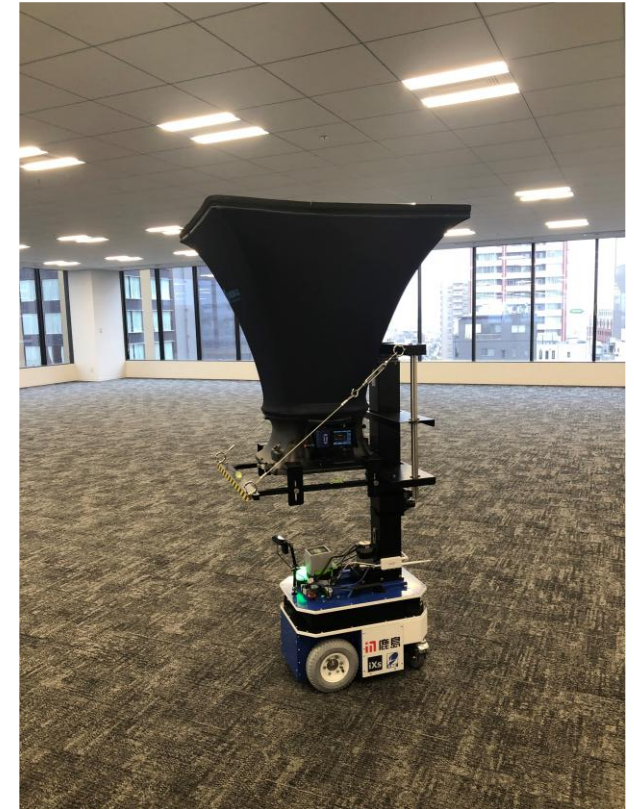
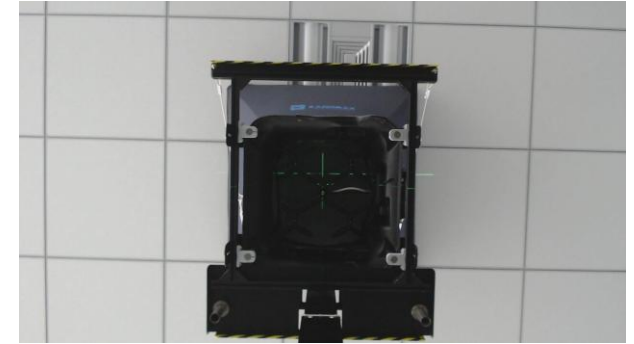
「オフィスビル」用途をターゲットに試作1号機の製作
ロボット動作は制気口に対して900×900のフードを押し付け



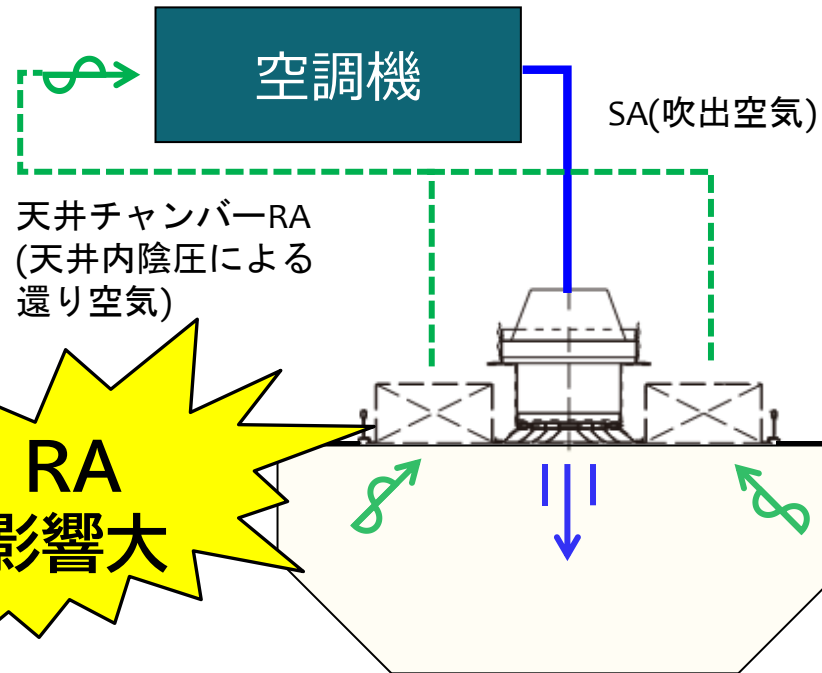
人に測定結果との差異
80~60%ほどの測定結果
⇒より正確な測定を

試用に見られた問題点として

1. 空調レタンエアの影響
2. 位置ずれによる影響



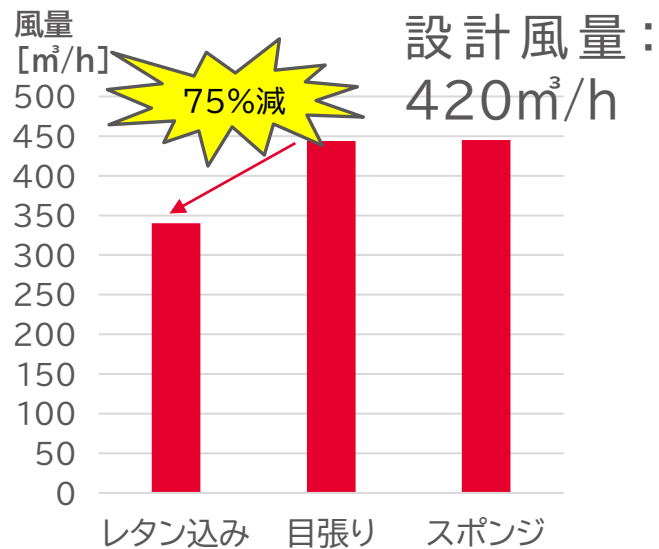
試作1号機の課題① 空調レタンの影響



- ◆ 位置調整の精度より大きいフードですべてを囲うことで検討していた
- ◆ オフィスビルに使われるシステム天井では、照明器具の隙間部から空調機へ還り空気(RA)を取っており、測定結果への影響が大きい

試作1号機の課題① 空調レタンの影響

RAの影響についてを実験



	風量 [m ³ /h]
レタン込み	340
目張り	444
スポンジ	445



レタン込み



目張り



レタン部スポンジ

照明部スリットを目張りしたRAの影響がないものと比較して**75%程度**の測定結果となる。

試作1号機の課題① 空調レタンの影響

風量計は既製品を用いているため、同様のケースにどのように対応しているかロボットへ搭載している風量計メーカーへのヒアリングを実施

・邪魔板を用いた計測の可否

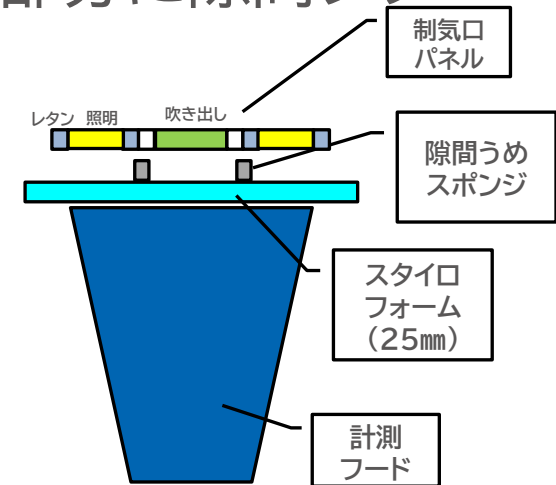
フードを使った制気口の計測ではレタンの影響があるので**邪魔板を使うことで影響なく計測ができる空衛学会の関西支部で報告**を行っている。

・邪魔板の作り方について

25mmのスタイロフォームを使いフードの上に載せる。制気口との接触部分に隙間クッション等を乗せる

・フードの形状について

制気口の形に合わせてカスタムして作っている例はある。



空調レタンの影響を排除するために測定機側では**邪魔板 + スポンジ**の取り付けが効果的

試作1号機の課題① 空調レタンの影響

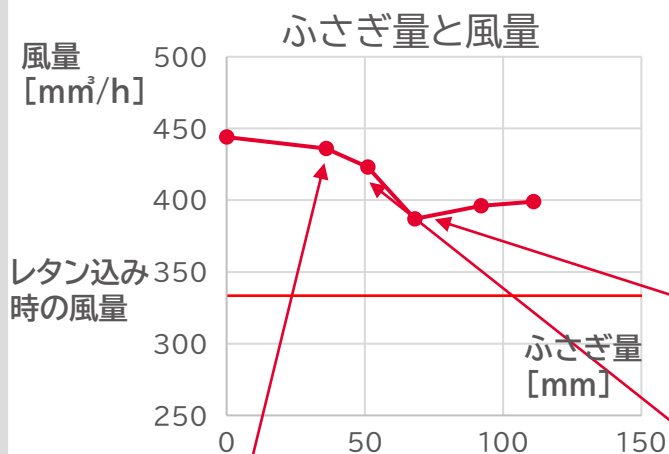
対策案にて実証。目張りを実施した数値との比較にて評価。

	STE-MII	ND-STE-MII	STEP
目張りあり	 355m ³ /h アネモマスターでの計測:380m ³ /h (参考値)	 389m ³ /h	 284m ³ /h
邪魔板+スポンジ	351m ³ /h (-4m³/h)	378m ³ /h (-9m³/h)	287m ³ /h (+3m³/h)

邪魔板の設置にてレタンの影響をなくせること確認

試作1号機の課題② 位置ずれの影響

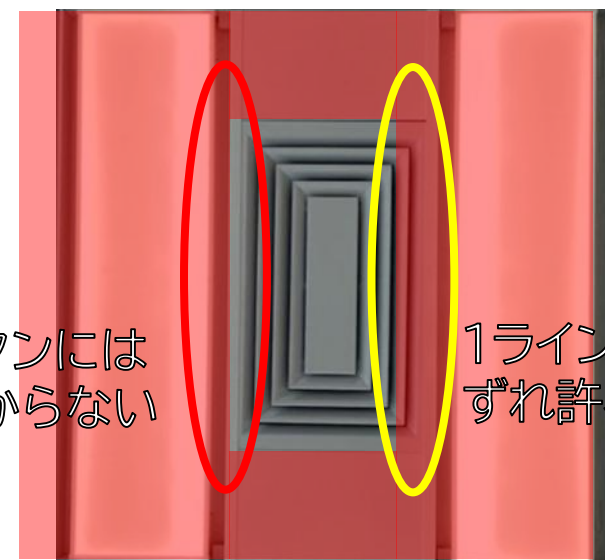
- ◆ 実証では大きく位置がずれるケースも発生。位置ずれによる測定結果の差異を確認
- ◆ さらにレタン影響を排除するためにより正確に位置合わせを行う必要がある



制気口塞ぎ量	風量 [m³/h]	%
0	444	100%
36	436	98%
51	423	95%
68	387	87%
92	396	89%
111	399	90%



ズレを許容する開口のイメージ



レタンにはかからない

1ラインのずれ許容



36mm(1ライン)



51mm(2ライン)

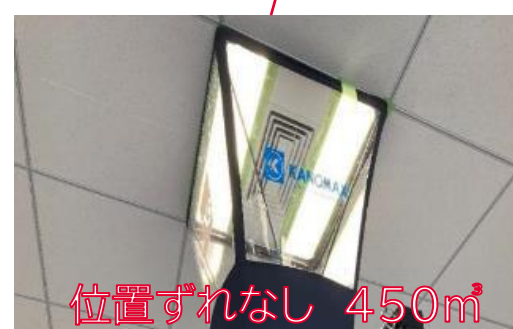
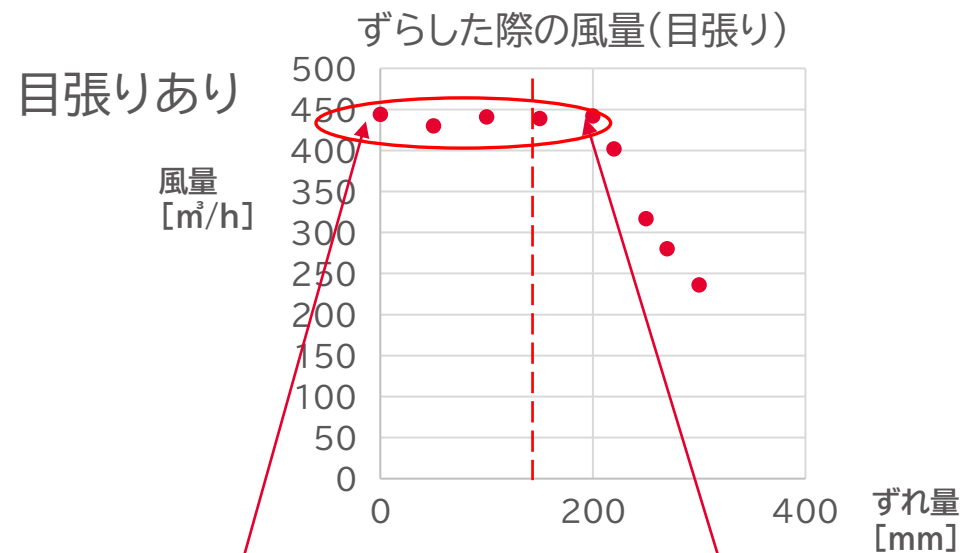
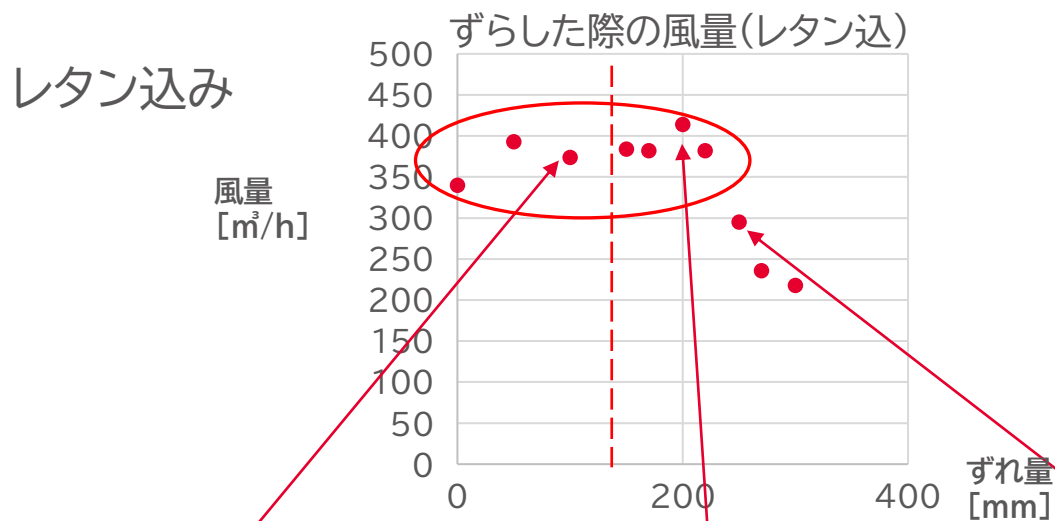


68mm(3ライン)

1ラインふさがれる程度であれば許容できる誤差(98%) …誤差を20mm

試作1号機の課題② 位置ずれの影響

測定器に当たる風の違いやフード側面による圧損が考えられるため位置による差の確認

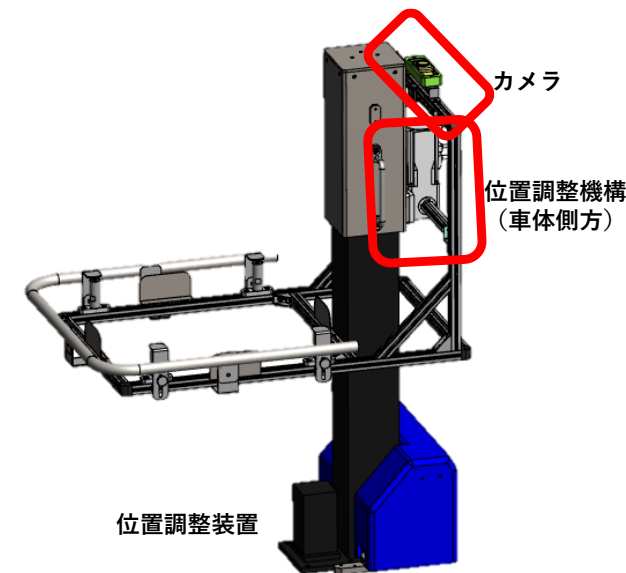
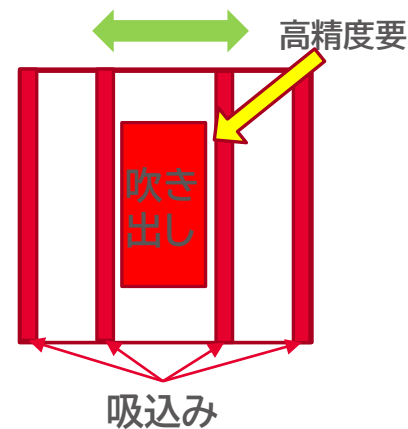


吹き出し口がフード下に入り、レタンの口がふさがれていれば多少ずれても測定可能

試作1号機の課題② 位置ずれの影響

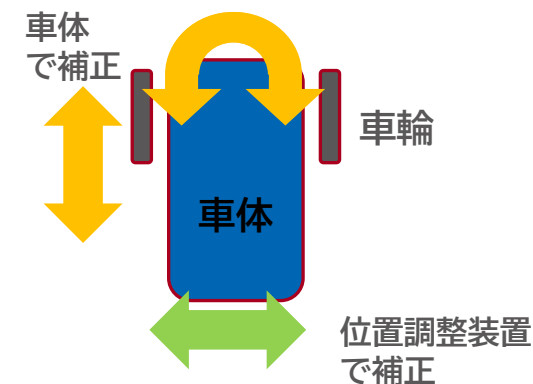
位置調整装置のコンセプト

- RAの影響を受けないよう制気口に合わせられる
 - 特に横方向は高精度に
- 安価にコンパクトな構成
- 制気口の見た目に左右されない



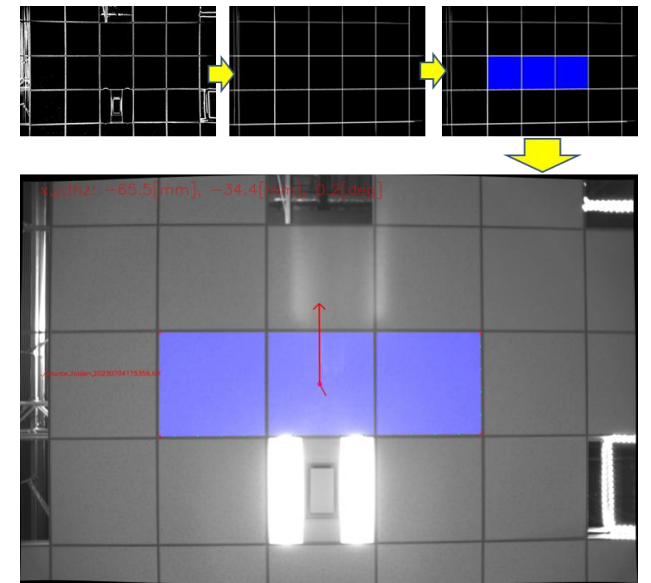
基本構想

- 車体自身で前後と回転を補正
- 車体の苦手な横行のみ別装置で補正
- センサの配置は視野確保から装置の昇降部天面



試作1号機の課題② 位置ずれの影響

- 車体動作範囲
 - 画像処理性能の設定
 - 目標検出範囲
 - 目標検出精度の設定
- 現場試行結果での車体の地図移動時到達性能を基に設定
→(実績最大誤差150mm、目標±100mm)
- 制気口に計測器をずらしたテストを基に設定
→(許容範囲±20mm、目標±10mm)
- カメラの選定、設置位置の選定
 - 産業用カメラ/ロボット用カメラ/Webカメラ から選定
 - 上記性能と、価格、取り扱い性、装置への収まりを考慮し
安価・視野角/検出精度が許容範囲の**Webカメラ**を選択
 - アルゴリズムの選定
 - 従来画像処理/DeepLearning から選定
 - 精度、再現性、環境変化への耐性を考慮
同様の性能のため環境変化リスクを考え**従来画像処理**を選択



位置調整画像処理



試作1号機の課題② 位置ずれの影響

- 床材が塗床
 - 照度が全体的に明るくなり画像処理パラメータ変更が必要
明るさの調整機能 又は パラメータの自動変更機能を追加
- 天井に他設備有り（監視カメラ、スピーカー）
 - 特に問題なし
- システム天井端にカットされたパネルあり
 - 制気口手前3パネルで検出していた処理を
検出形状が異常の際には1パネルで行うこととする



改善点はあるながらカメラによる位置調整機構にて計測可能なことを確認

ロボットのマップの作成

様々な現場にて実証した結果

建築

CADソフト	変換方式	結果
ArchCAD	IFC	可能
Revit	不要	未検証
DWG	DXF	可能

*測定時期に完璧なBIMデータがある現場
現状少ない

*DXFでも精度は落ちるが走行は可能

設備

CADソフト	変換方式	結果
Rebro	rvt	可能
Revit	不要	未検証
T-fas	IFC	属性情報は欠落
CADEWA	IFC	未検証

*Rebro、Revitは自動で測定ポイントを自動で抽出することが可能

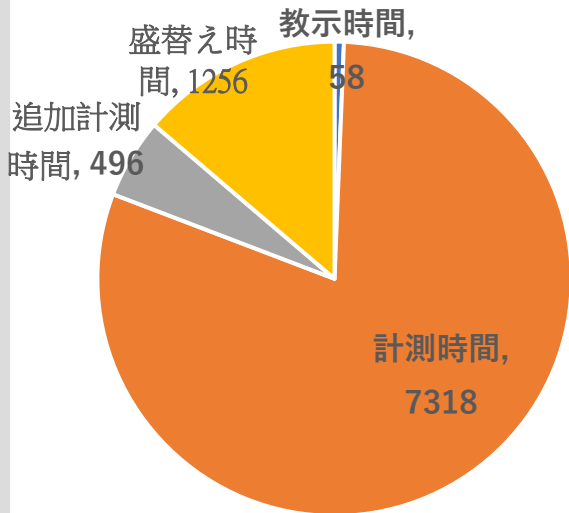
*T-fasの場合はIFC変換時に属性情報が欠落するため、手動で測定ポイントの抽出が必要

建設現場におけるBIMの運用が不安定であること。
BIM以外での運用も可能なように対応

測定時間の高速化

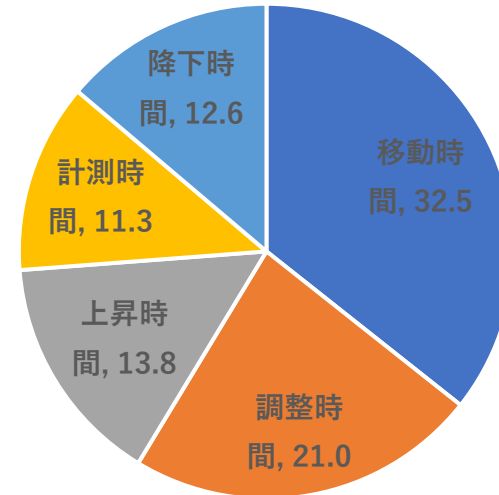
1フロア80か所の制気口が存在する現場にて実証した際の時間

1フロア当たりの所要時間



	所要時間(分)
教示時間	1
計測時間	122
追加計測時間	7
盛替え時間	21
1フロア合計	152

1計測当たりの所要時間



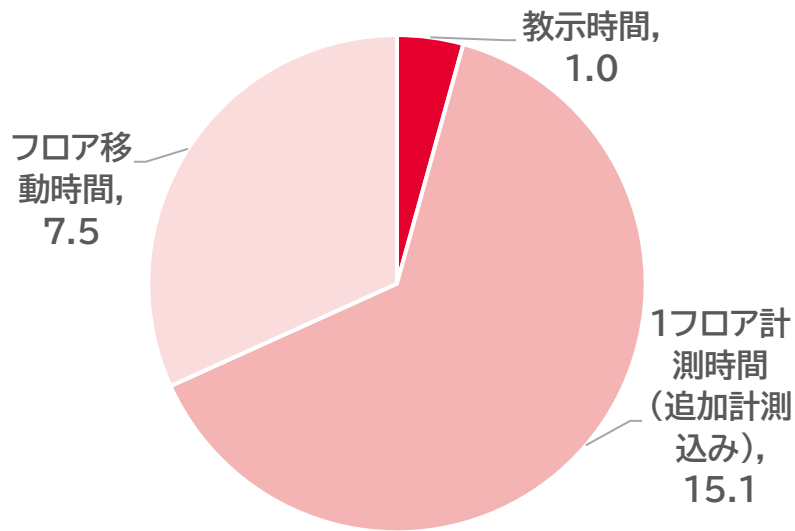
	所要時間(秒)
移動時間	32.5
調整時間	21
上昇時間	13.8
計測時間	11.3
降下時間	12.6
1か所合計	90.6

- ◆ 測定時間内訳より「移動時間」「降下時間」に着目
- ◆ 「調整時間」は位置調整機構にて位置合わせを行うため、車体部分の調整は単純に
- ◆ フードを降ろしながら次ポイントへ移動することで時間の短縮に

測定時間の高速化

- ◆ 改良後別現場にて実証
- ◆ 計測時間の打ち合わせによる比較を実施

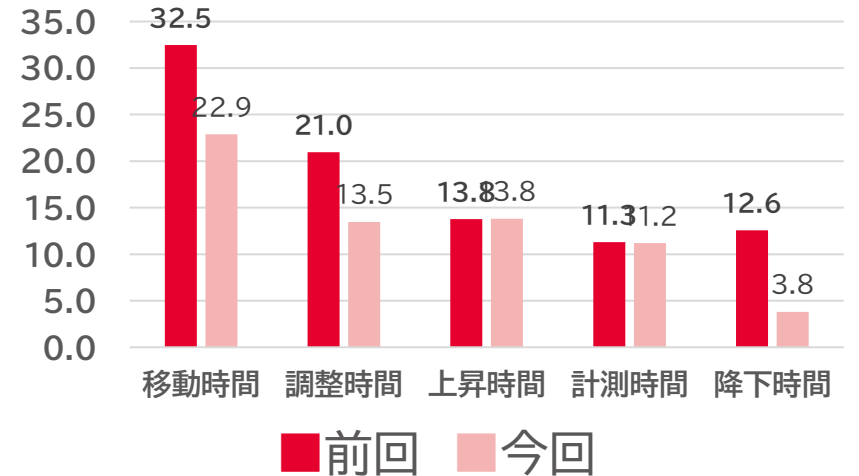
1フロア当たりの所要時間



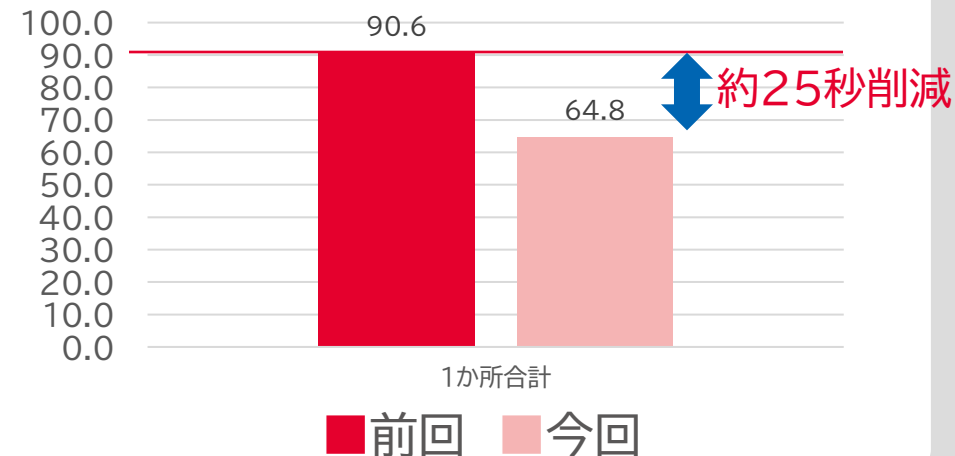
	所要時間(分)
教示時間	1
計測時間	15.1
盛替え時間	7.5
1フロア合計	23.7

- ◆ 移動速度の高速化、降下しながら次測定点への移動を改良
- ◆ 車体側調整はより単純に
- ◆ 改良により1測定あたり25秒ほどの削減を実現

計測時間内訳



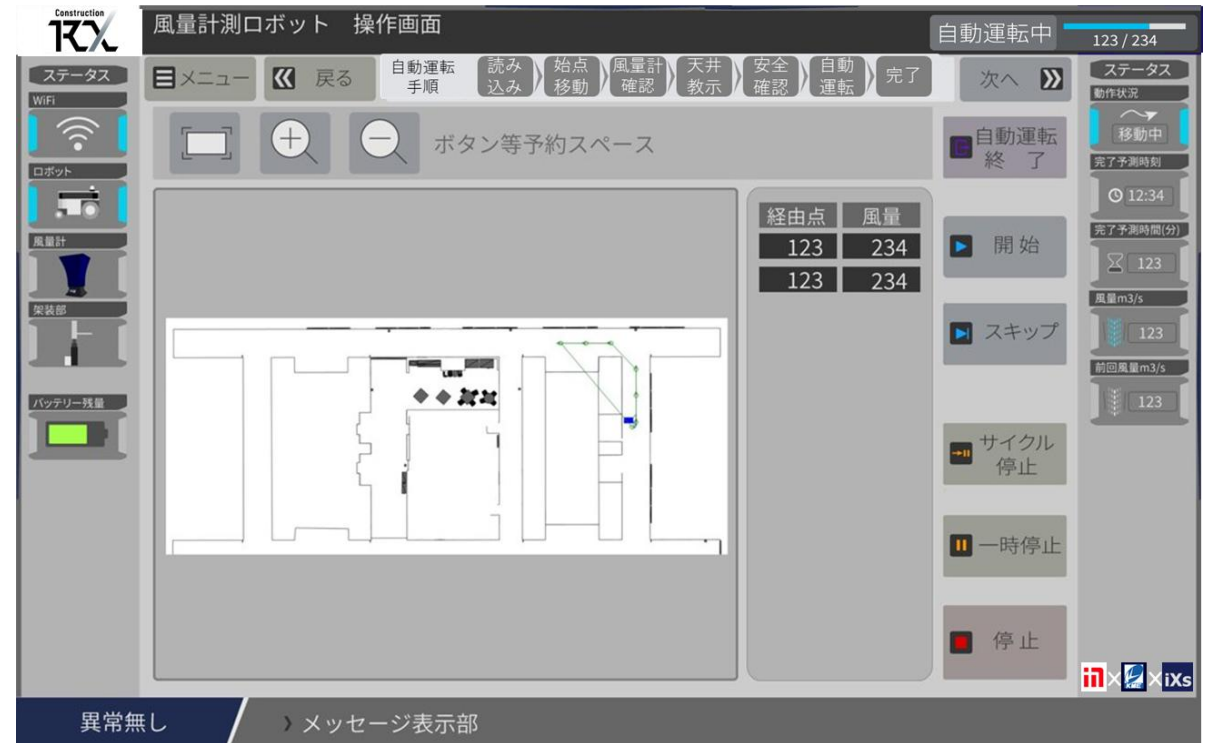
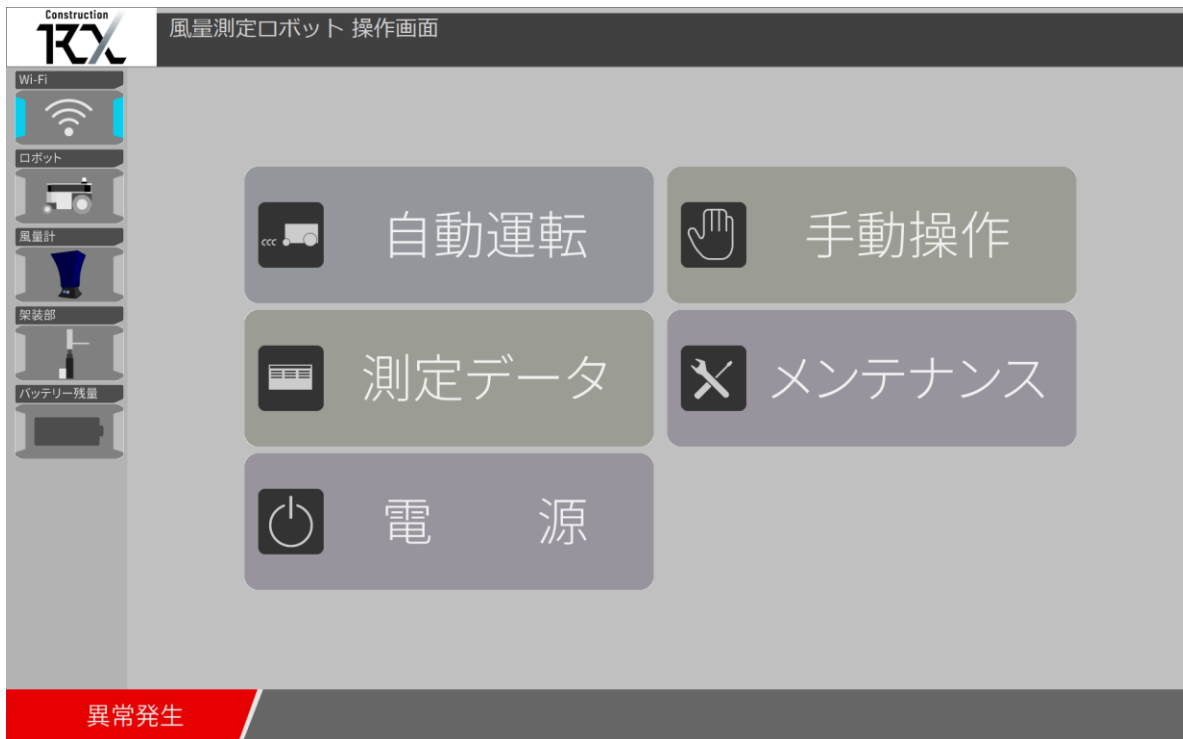
1計測当たりの所要時間 (前回比較)



操作画面の改良

ユーザーインターフェイスの改良も行いました。

より使いやすく、必要な情報を確認できることをコンセプトにRXコンソーシアムでアンケートをとりながら改良を進めました。



ロボット概要

ロボット概要

Air-vo[®]



- サイズ
計測フード込
W620mm×D790mm×H1,880mm
昇降装置 込 W620mm×D790mm×H1,395mm
(車体のみ W406mm ×D615mm×H419mm)
- 重量 83kg
- 移動速度 1.6kph(0.44m/s)
- 昇降装置ストローク 2000mm
- 対応天井高 3.8mまで
- 位置調整装置ストローク±150mm
- 稼働時間 最大8時間

ロボット概要

- ・計測器(Kanomax製フード風量計)
- ・位置調整装置
- ・昇降装置
- ・車体(自立走行車両ロボット)
- ・操作用リモコン
- ・専用タブレットPC



ロボット動作について

移動

位置調整

測定

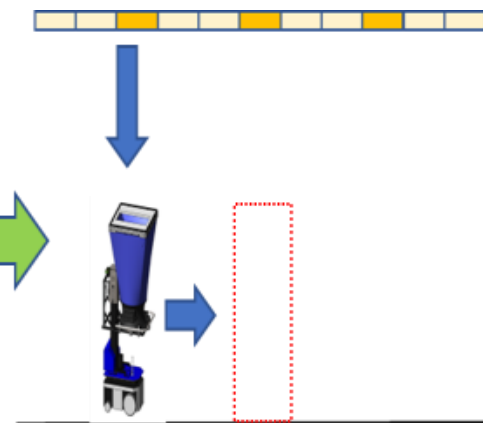
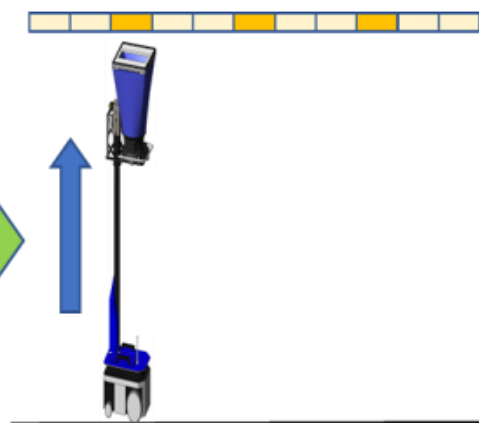
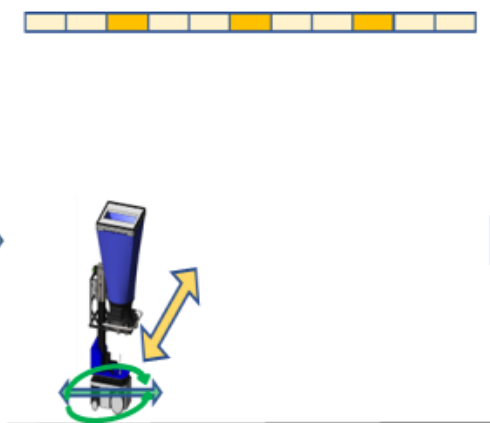
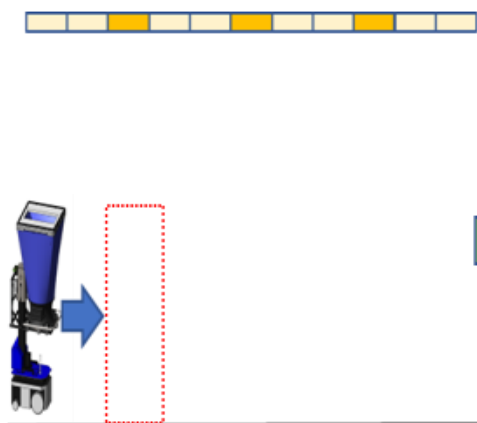
移動

事前に与えたMAP
より測定ポイントへ移動

ロボットに搭載されたカ
メラにて制気口との位置
調整

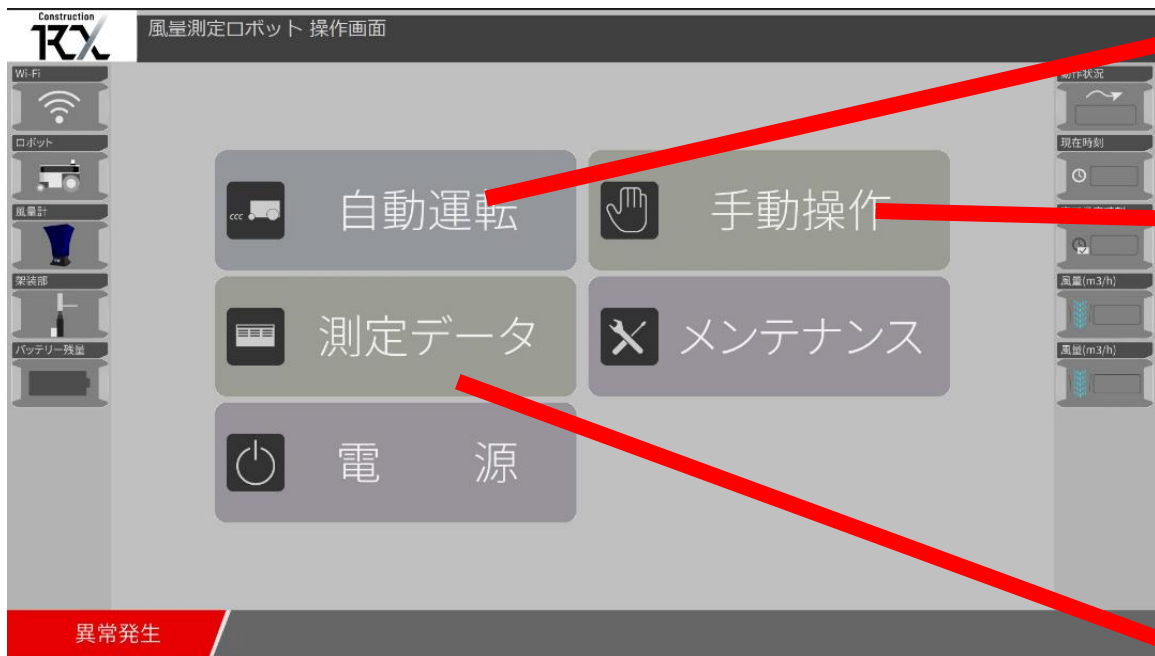
フードを押し当て風量を
測定

測定が完了したら次のポ
イントへ



ロボット動作について

風量調整・測定の業務方法に合わせ「自動運転」「手動操作」を選択し走行が可能



自動運転により測定点から自動で走行ルートの設定・走行が可能

付属のコントローラー操作により好みに合わせて風量測定をロボットで実施可能



測定結果を確認を行うことができる

ロボット動作について



図面準備

走行用データ
作成

ロボット組立
走行

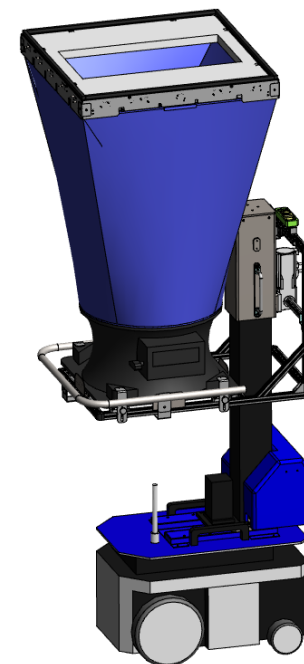
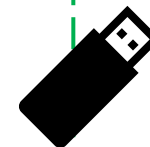
- **建築IFCデータ**
 - (床レベル・壁形状)
- **設備IFCデータ**
 - (制気口形状・高さ)

- RevitでIFC取り込み
+アドイン連携
- 専用アプリ
(MissionPlanner)で
走行ルート作成

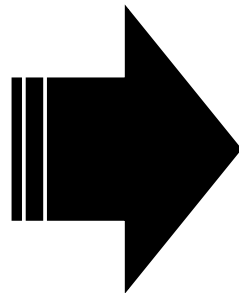
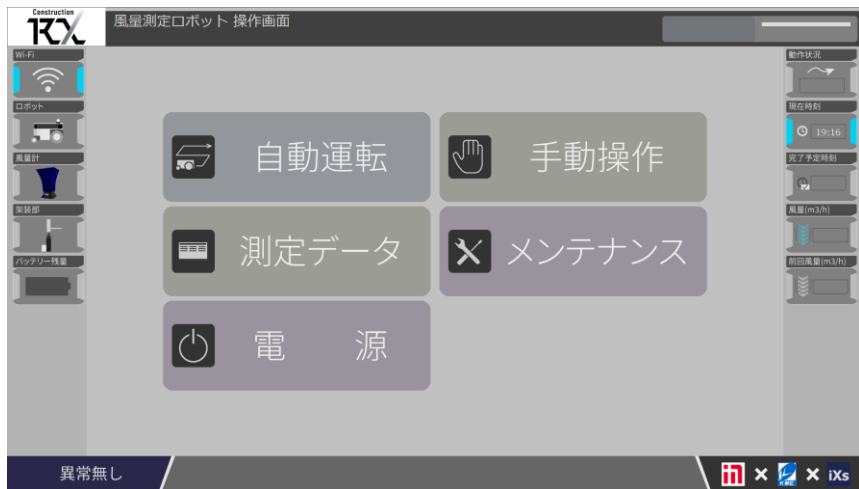
- ロボットの組み立て
- 走行データよりロボット
への走行指示

事務所作業

現場作業



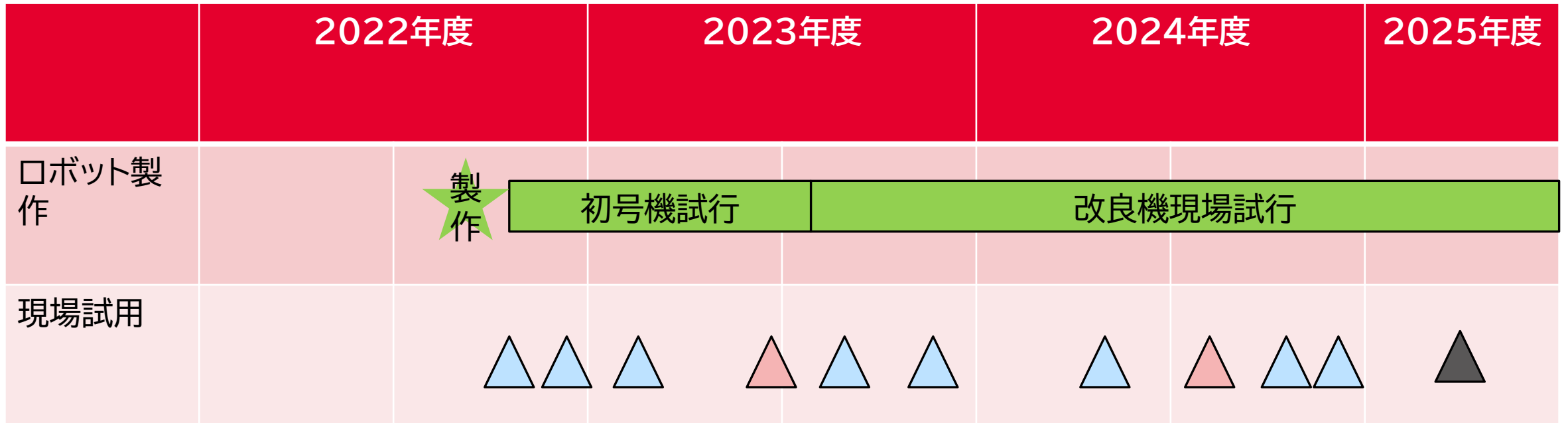
ロボット動作について



検査書名: 風量測定記録										提出日: _____		日建連 機-08			
工事名称: _____										工事監理者		元請会社		専門工事会社	
(会社名)			(立合者)			(会社名)			(測定者)						
立合者: _____			測定者: _____												
測定日: _____		測定場所: _____			天候・気温・湿度: _____			℃		%					
測定	(品名)		(型式)		(製造者名)			(製造番号)			(校正有効期限)				
機器	_____														
No	階	室名・場所名	系統種類	制気口形式	サイズ	有効開口率	有効面積	設計風量	測定風速	測定風量	合・否判定	手直し確認		備考	
						%	m ²	m ³ /h	m/s	m ³ /h		月日	確認者		

風量測定ロボ管理アプリより、PNG + CSV出力が可能
出力したデータを使用して日建連標準帳票に対応(予定)

実績について



▲ : オフィスビル ▲ : 生産施設 ▲ : RXコンソーシアム利用

製作から全10件の現場にて試行を実施

2024年6月からRXコンソーシアム内での現場試行も開始

2025年5月に他社によるロボット利用を予定

これからの展望

今後の展望

課題

- 現場担当者がデジタルツールを扱う余裕がなく、専門性を伴うツールも多い
- ID登録やインフラ構築など、デジタル化のための環境整備が必要

対策

現場のデジタル化を専門部隊が支援

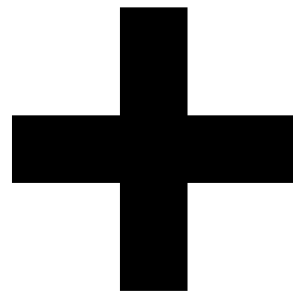
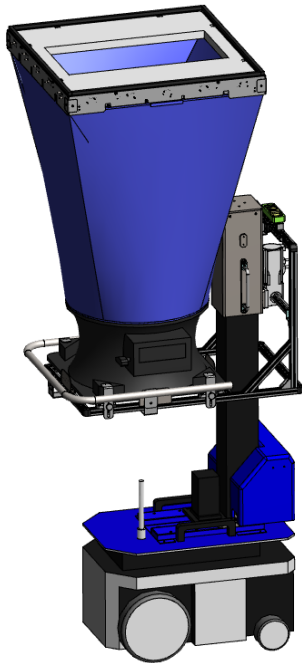


今後の展望

現在開発・普及を始めている風量測定ロボット

次の展望として「風量以外の検査も行えるロボット」を目指していこうと考えています。

風量だけではなく、様々な検査が行える多用途展開を目指しています。



ご清聴ありがとうございました。

お問い合わせ:鹿島建設 建築管理本部 関 太介
sekid@kajima.com