

大規模集客イベントなどにおける 感染抑制に関する研究

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

地図資源環境研究部門 保高 徹生

人工知能研究センター 大西 正輝・坂東 宣昭

安全科学研究部門 内藤 航・篠原 直秀・岩崎 雄一

協力 :

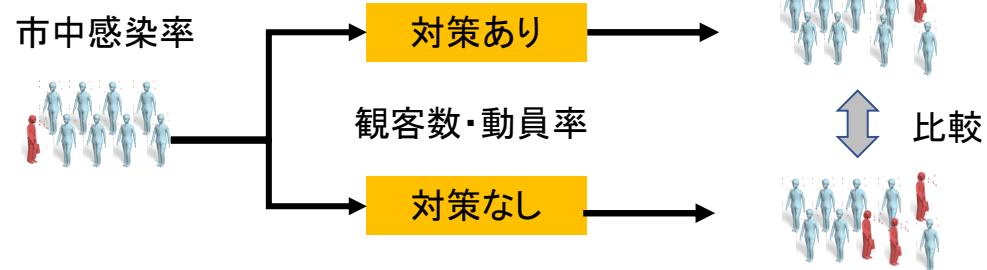
Jリーグ、FC今治、モンテディオ山形、北海道コンサドーレ札幌、川崎フロンターレ、柏レイソル、FC東京、鹿島アントラーズ、名古屋グランパス、国立競技場、ありがとうサービス、夢スタジアム、札幌ドーム、等々力陸上競技場、県立カシマサッカースタジアム、

読売巨人軍、東京ドーム

研究チームMARCO（東京大学 井元 清哉 教授代表）



1. 大規模集客イベントにおける調査の全体像と感染リスク評価 (発表者: 保高)



2. レーザーレーダーを用いた人流解析およびハンディカメラによるマスク着用率、マイクロホンアレイによる非意図的な歓声頻度の評価 (発表者: 大西)



3. 大規模集客イベント等におけるCO₂計測結果と計測の意義 (発表者: 内藤)





大規模集客イベントにおける 調査の全体像と感染リスク評価

新型コロナウィルス感染拡大に伴い、Jリーグやプロ野球等の大規模集客イベントに対して、試合中断や活動自粛等、観客の人数制限等の措置が取られてきた。

◆Jリーグの事例

2020年2月末～試合中断

2020年6月末～試合再開（無観客）

2020年7月10日～有観客（30%または5000人の大きな方を上限、声出し応援なし）

2020年9月19日～有観客（最大50%まで、声出し応援なし）

◆対策

- ・選手・スタッフ・観客は、感染予防のための様々な対策を実施
- ・スタッフの対策例
 - 入場制限
 - 千鳥座席配置
 - アルコール販売の制限
 - 各種対策機材の設置
 - 観客へのアナウンス
- ・観客の対策例
 - マスク着用
 - サーモグラフィーによる検温
 - アルコール消毒
 - 声出し応援なし
 - 分散退場
 - 直帰



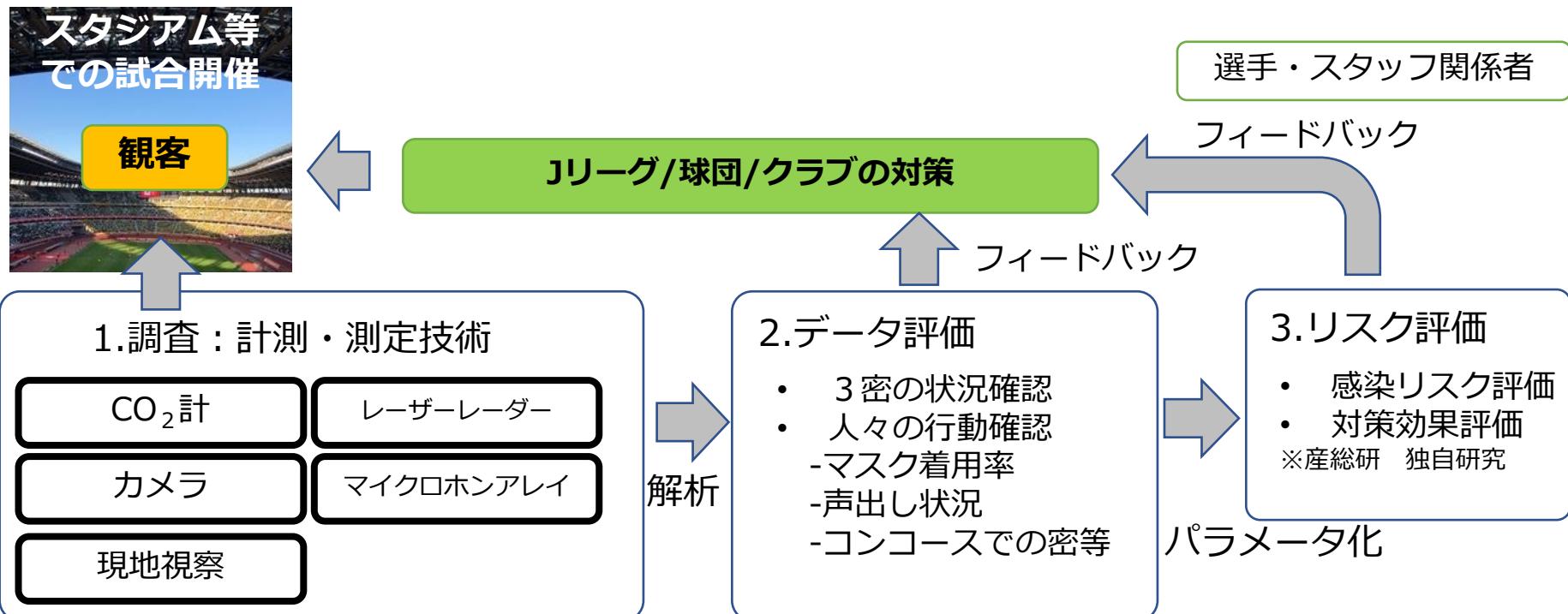
- ①スタジアム/選手の実際のリスクは？（スタジアムで3密は発生しているのか？）
- ②対策の遵守状況や人々の行動の確認（各種対策は守られているのか？）
- ③対策のリスク低減効果を評価（対策は効果があるのか？）

目的と全体像

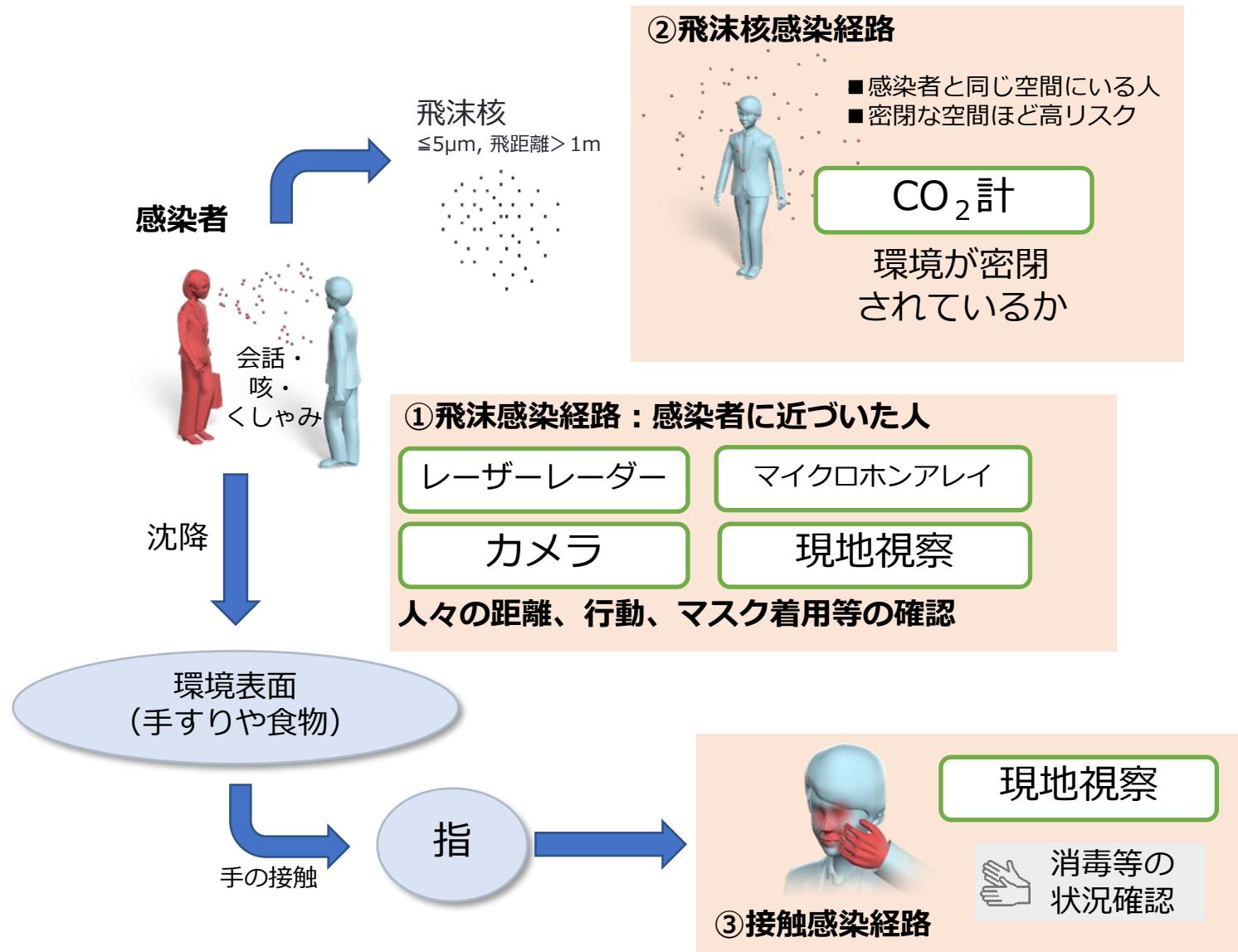
産総研が持つ計測・測定技術やAIを駆使して、スタジアムやクラブハウスでの密の具合や人流、マスク着用率等の人々の行動を計測するとともに、それらをパラメータとするリスク評価モデルを構築することで、①～③を実現する。

- ① スタジアムにおける観客の感染リスクを評価
- ② 対策の遵守状況を確認
- ③ 対策のリスク低減効果を評価

さらに、スタジアムなどでの大規模集客イベントの対策の指針作り、より効果的な対策の立案、人数制限緩和・強化等のプロトコル構築に寄与する。



感染経路と本調査のターゲット



調査日程

ホームチーム	スタジアム	試合日 2020.21年	観客数	収容人数	収容率	CO ₂ 計	カメラ マスク 着用率	レーザー レーダ	マイク ロホン アレイ	リスク 評価
FC今治	ありがとうサー ビス. 夢スタジアム	11/22	1925	5000	39%	○				
		12/20	2139	5000	43%	○				
モンテディオ 山形	NDソフトスタ ジアム	11/25	1875	20315	9%	○				
		12/13	4561	20315	22%	○				
北海道 コンサドーレ札幌	札幌ドーム	12/5	8905	42065	21%	○				
川崎 フロンターレ	等々力陸上 競技場	12/16	11387	26232	43%	○				
ルヴァンカップ 決勝	国立競技場	1/4	24219	53000	46%	○	○	○		
ゼロックス スーパーカップ	埼玉スタジア ム2002	2/20	4208	63700	6%	○				全ての機器で 計測した試合
名古屋 グランパス	豊田 スタジアム	4/3	15035	44380	34%	○	○	○	○	○
FC東京	味の素 スタジアム	4/11	17615	48955	36%	○	○	○	○	○
鹿島 アントラーズ	県立 カシマサッカ ースタジアム	4/24	10223	40728	25%	○	○			
川崎 フロンターレ	等々力陸上 競技場	5/4	4954	26232	19%	○	○			
読売巨人軍	東京ドーム	3/28~ 5/16	9991 ~ 17122	46000	21% ~ 37%	○	○	○	○	○

実証試験の内容（すべての機器で計測した試合）

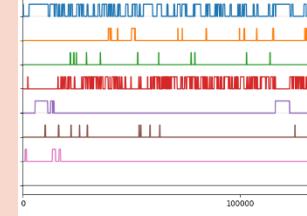
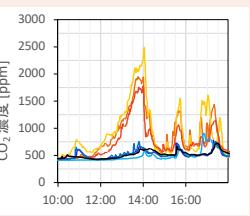


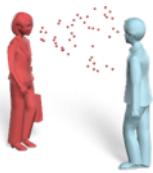
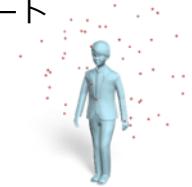
4月3日
(名古屋@豊田スタジアム :15,035人)



4月11日
(FC東京@味の素スタジアム:17,615人)

調査機器と調査内容

調査機材	台数、評価内容	調査内容・結果イメージ
カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ・拍手、万歳、ハイタッチなど10種類程度の行動の推定。マスク着用率およびマスク不着用の状況の把握 	   
レーザーレーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の位置および入場者間の平均距離 	  
マイクロホンアレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・観客席の応援状況などを把握。 <p>スタジアム環境下では、観客の応援音声だけでなく、鳴り物やアナウンスなどさまざまな音が計測の妨害音として存在するが、このような環境下でのアレイ信号処理の技術的な適用可能性の探索</p>	 
CO ₂ 濃度計測器	<ul style="list-style-type: none"> ・密の程度の評価 ・換気の必要性情報の提供 	    

リスク	リスク対象	Jリーグ/クラブの対策	効果確認の調査
飛沫感染ルート 	観客席・コンコース・移動時の会話	<ul style="list-style-type: none"> ◆社会的距離： ・座席の千鳥配置 ◆マスク着用徹底 ・MCアナウンス、選手動画による周知徹底 	  <ul style="list-style-type: none"> ◆カメラ撮影・AI画像解析のマスク着用率の確認（産総研） ◆高いマスク着用率*を確認 試合中：94% (2試合平均) ハーフタイム:83.5% (2試合平均) ◆マイクロホンアレイは評価中
	退場時のコンコースで密	<ul style="list-style-type: none"> ◆分散退場 (距離) ・MCアナウンス、選手動画による周知徹底 ◆マスク着用 	 <ul style="list-style-type: none"> ◆レーザーレーダーによる人流解析確認（産総研） ◆分散退場**はスタンド座席からの移動を10～15分程度分散させる効果があり
飛沫核感染ルート 	観客席	<ul style="list-style-type: none"> ◆密回避 既往調査では問題なし 	 <ul style="list-style-type: none"> ◆CO₂計 (産総研) ◆400-500ppmで密な状況は確認されず
	ラウンジ、ギャラリー等の密	<ul style="list-style-type: none"> ◆換気 リアルタイムCO₂計に応じた換気実施 	 <ul style="list-style-type: none"> ◆CO₂計・リアルタイムCO₂計(産総研) ◆ラウンジ・個室等では密な状況は確認されず。トイレではCO₂濃度が一時的に上昇
接触感染ルート 	トイレ個室ノブ、手すり等を介した接触感染	<ul style="list-style-type: none"> ◆消毒 トイレの入場口、コンコースの消毒設置 	 <ul style="list-style-type: none"> ◆アルコール使用量の測定 (Jリーグ/クラブ***) ◆名古屋(2526g)、東京(18554g)
外	飲食に伴うリスク・移動に伴う感染リスク	<ul style="list-style-type: none"> ◆試合帰りの飲食等における注意喚起 ◆分散退場 (距離) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆モバイル空間統計による直帰率の確認 (Jリーグ/NTTグループ***) ◆54.8%～67% (アンケートでも同様) ◆帰りに家族以外と外食した割合は全体の6-8% (うち、半分以上は2人だけで食事:Jリーグアンケートより)

*マスク未着用の中には子供、飲食中の人も含まれる。
試合前やハーフタイムは飲食によるマスク未着用が多い

**選手の歩くスピードが影響を与えてる。

産総研以外の機関 (Jリーグ等) が実施した調査の結果を許可を得て掲載

実証試験時の観客への周知方法

告知内容



ポスター



デジタル サイネージ



選手動画による周知

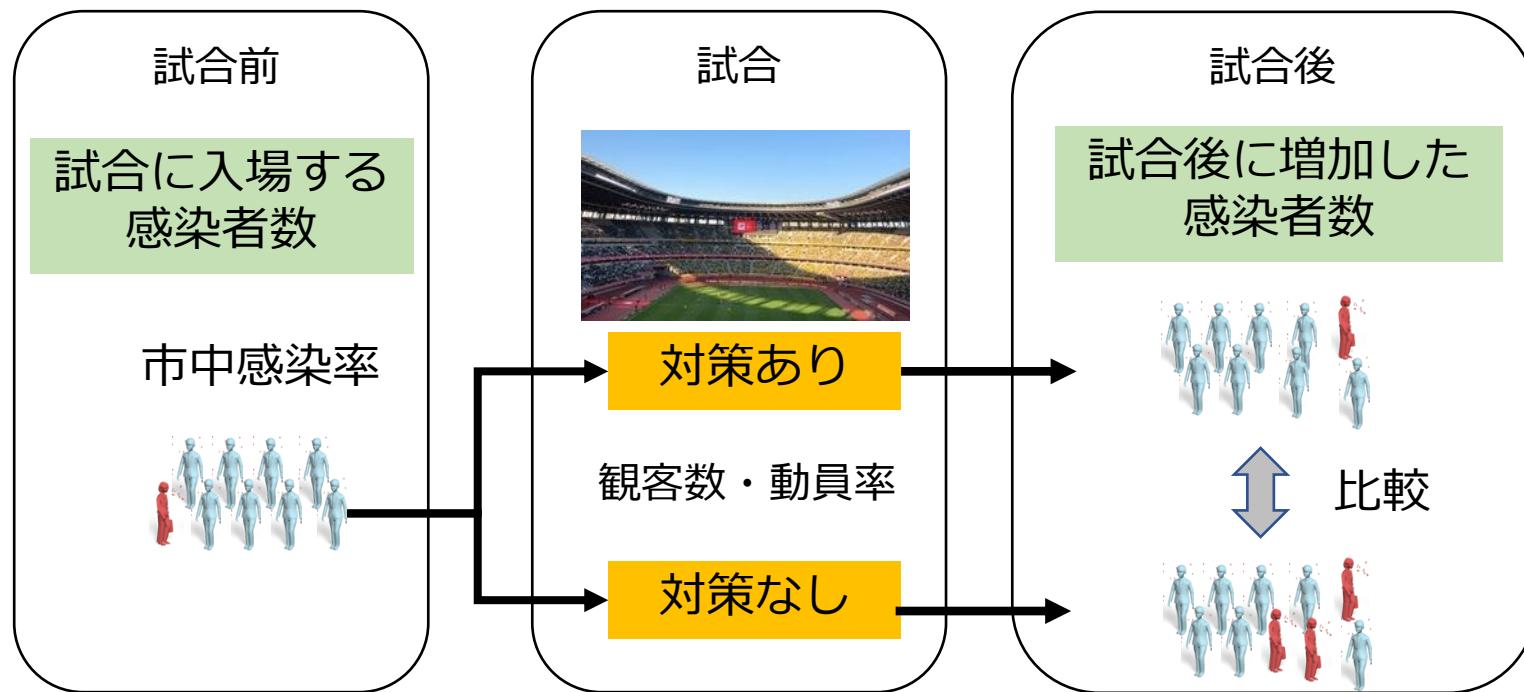


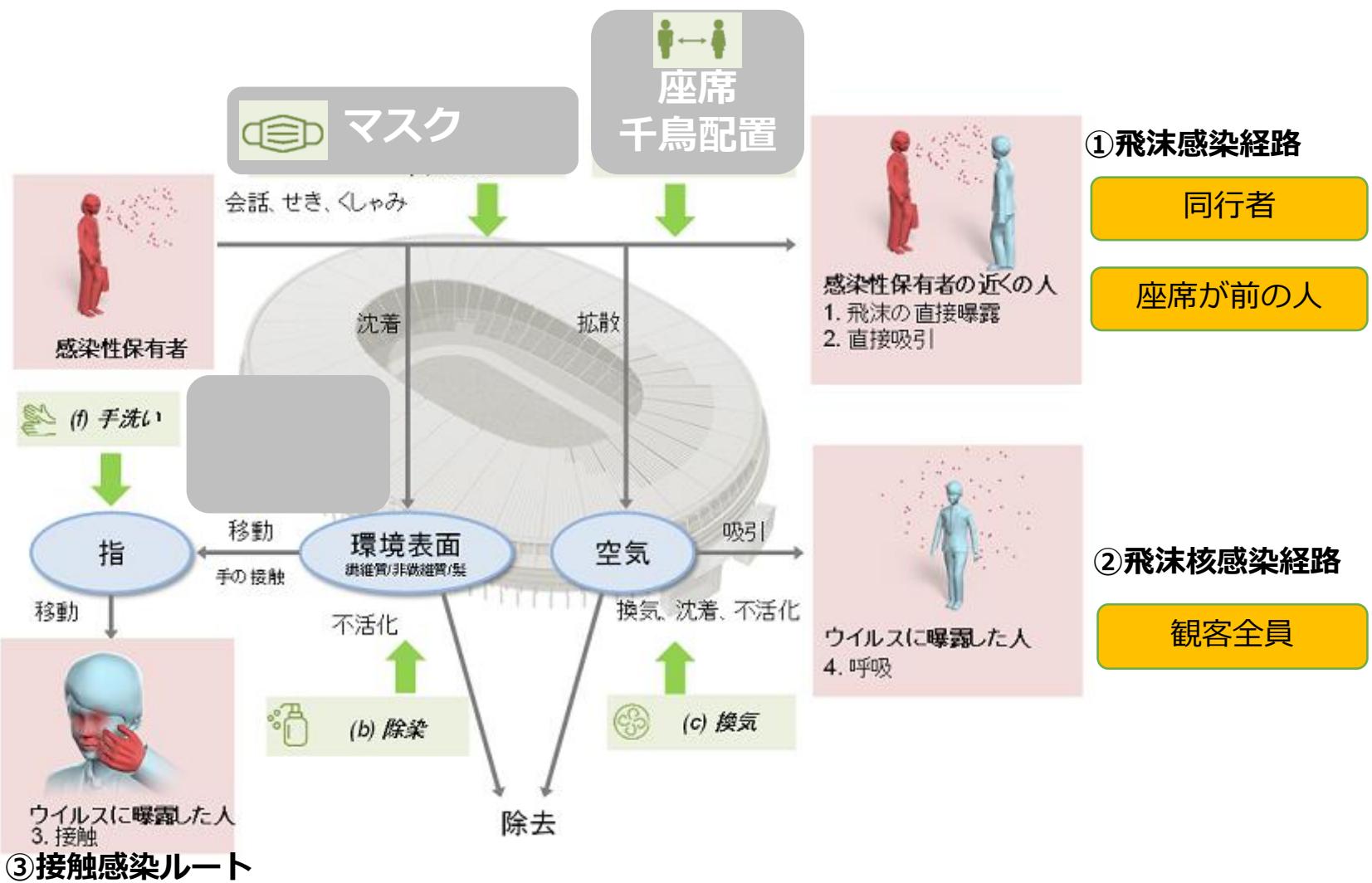


実証試験試合における 感染リスク評価

◆目的

マスク着用・手洗いといった感染対策による観客の感染リスク低減効果をコンピュータシミュレーションによって推定する。





同行者

トイレで一緒に並んだ人

座席が前の人

売店で一緒に並んだ人

(Murakami et al. (2021) Microbial Risk Analysis. doi: 10.1016/j.mran.2021.100162) の図を一部改変
https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/jp/about/press/page_00082.html

2.方法・モデル

- (1) Nicas and Jones(2009)をもとに、環境中ウイルス動態と曝露経路をモデル化したMurakami et al.(2021)を改良。
- (2) 想定した曝露経路は飛沫の直接曝露、飛沫の直接吸入、拡散したウイルスの吸引、表面接触。
- (3) 発生する飛沫量、ウイルス濃度、不活化、換気係数、人の距離等のパラメータを使用。用量反応はSARS-CoVのマウスへの感染実験から得られた式を使用。
- (4) 対策：座席間隔の確保、マスク、消毒、手洗いを考慮。（分散退場の効果はここでは未考慮）
- (5) コンコースやスタンドやトイレ等の場に分けて解析。
- (6) 実測データから推定したパラメーターを使用。
- (7) モンテカルロシミュレーションで1条件、1万回（1万試合）実施。

3.設定条件・対策内容とモデル上での考慮

パラメータの一部	豊田スタ	味の素スタ	根拠
マスク着用率	92%	90.5% 実測	
観戦 人数	1人(同行者0名)	38.4%	45%
	2人(同行者1名)	37.4%	39.2% J実施
	3人以上(同行者2名以上)	24%	15.8% アンケート
試合前スタジアム滞在平均時間	90分	67分	
試合時間 (= 観戦時間)	115分	114分	
来場者数／収容人数	34%	36%	試合
	来場者数	15,035人	17,615人 データ
	収容人数	44,380人	48,955人
隣の席との距離	対策なし: 0.5m		
	対策あり: 1m以上(隣空席)		実測
無症状感染者割合 P0	6.5×10^{-5} (6.5人/10万人)	1.9×10^{-4} (19人/10万人)	試合前の 1週間の 感染者数 から算定
会話確率(0.3の場合、90分中27分会話をしている)	試合前0.3 試合中0.2(対策なし) 試合中0.1(対策あり)	Mukarami et al.(2021) 1)を基本	
スタンドでの横を向く確率	試合前0.5、試合中0.3に変更		

Murakami et al. (2021), "COVID-19 risk assessment at the opening ceremony of the Tokyo 2020 Olympic Games", Microbial Risk Analysis.

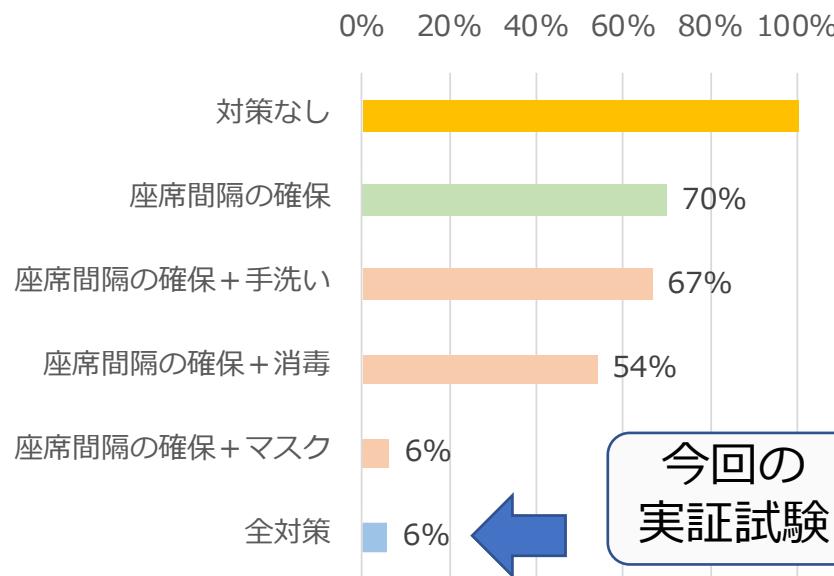
Nicas and Jones (2009), "Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk", Risk Analysis.

実証試験試合の対策効果の評価

- マスク、除染、手洗いの対策を取るなど、主催者と観客が協力して対策を講じた結果、対策を実施しない場合と比較して、94%のリスクが削減されていると推定された。
- また、対策の中でもマスク着用によるリスク削減効果が大きく、マスク着用の重要性が確認された。

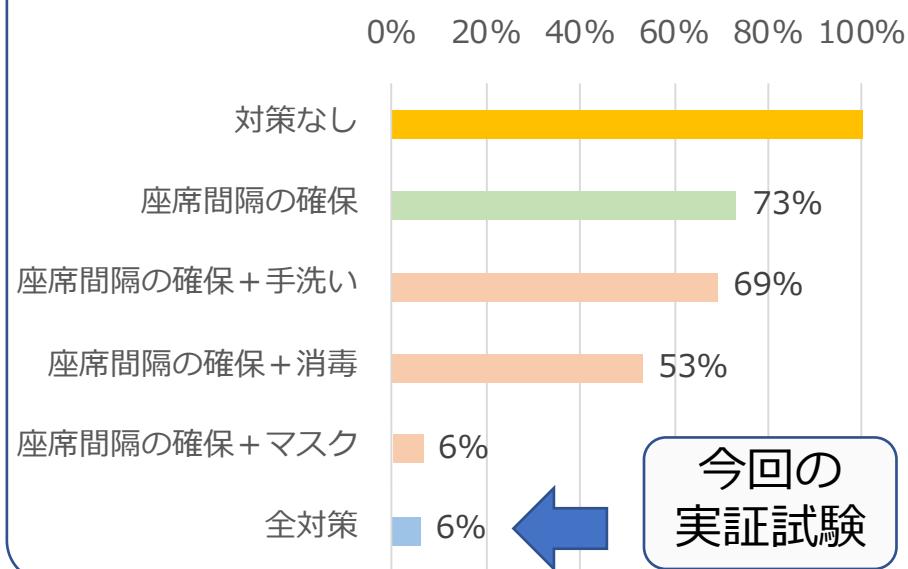
名古屋グランパス vs FC東京

対策なしの感染リスクを100%とした場合の各対策を実施した場合の感染リスクの平均値

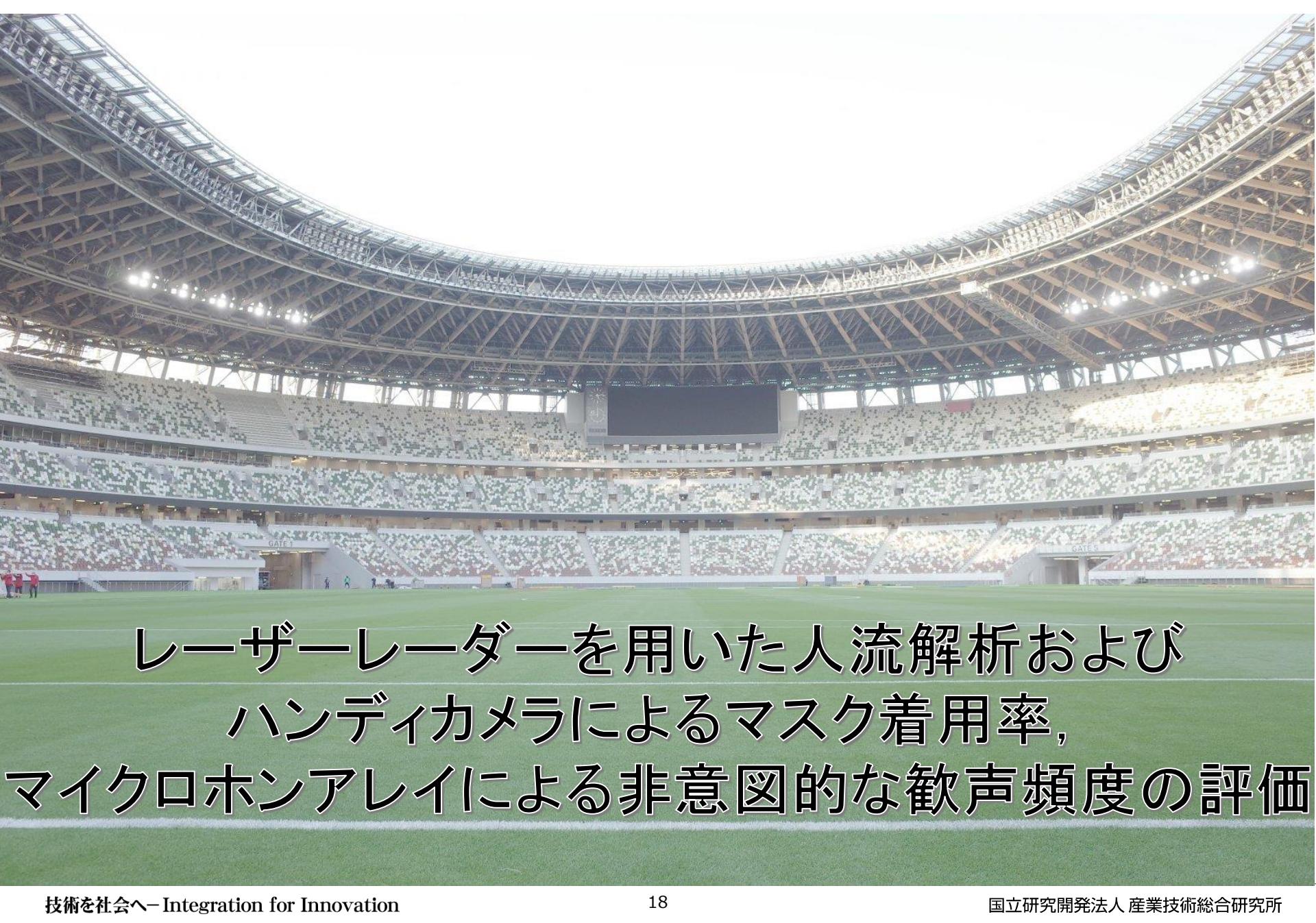


FC東京 vs 川崎フロンターレ

対策なしの感染リスクを100%とした場合の各対策を実施した場合の感染リスクの平均値



- ・本シミュレーションの結果は、設定したシナリオにおける10000回のモンテカルロシミュレーションの平均値である。
- ・設定していないシナリオ（例えば、スタジアム外、コンコースでのマスクを外した飲食、大声を出す応援（現在禁止））等のリスクは含まれていない。
★試合中にでる歓声（応援ではない）は今後、含める予定。
- ・また、曝露/対策パラメータおよび用量-反応関係（曝露と発症）については、現時点での知見から妥当と思われるパラメータを用いているが、一定の不確実性がある（例えば、有症状者/無症状者の割合、マスクの種類に関わらず効果を一定としている等）。
- ・計算された感染者数の絶対値は不確実性を含む。そのため、感染者数 자체を議論するのではなく、相対的な対策の比較等を目的として用いることが望ましい。
- ・これまでの実際の試合で得られたパラメータや最新の知見を加えて、リスク評価の精緻化を進めていく予定。



レーザーレーダーを用いた人流解析および
ハンディカメラによるマスク着用率,
マイクロホンアレイによる非意図的な歓声頻度の評価

1. レーザーレーダー (コンコース)

- ・混雑具合、回遊方法、滞在時間
- ・コンコースからの退場方法

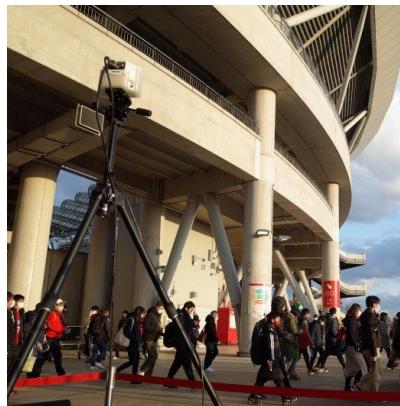
2. ハンディカメラ (観客席)

- ・混雑具合
- ・マスク着用率
- ・応援方法*

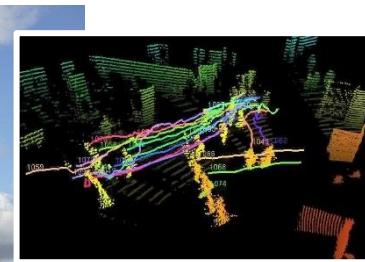
3. マイクロホンアレイ (観客席)

- ・非意図的な歓声頻度
- ・非意図的な歓声の方向*

*は今後検討予定



カシマスタジアム



国立競技場



味の素スタジアム



豊田スタジアム



等々力陸上競技場

Jリーグの試合をもとに
リスク評価を行うための
定量的な数字を把握

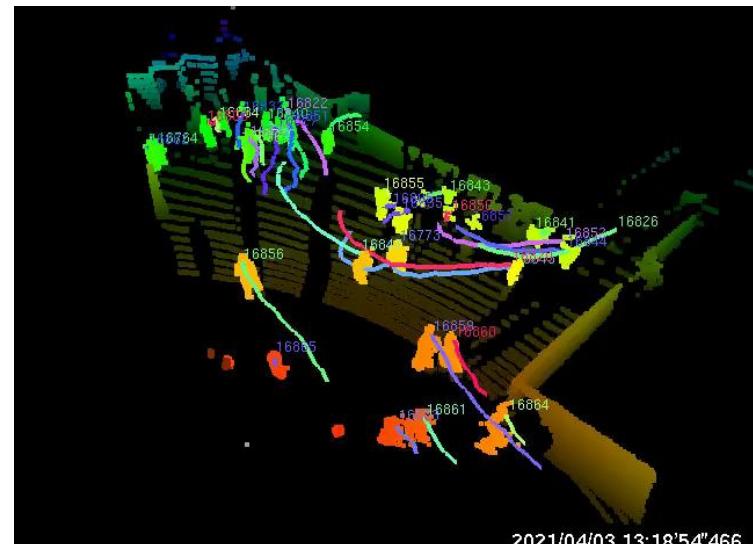
1. レーザーレーダー（コンコース）

レーザーを回転することによって対象物までの距離を測定する装置
人を抽出し三次元位置を計測することで人の流れを把握可能

- ・混雑具合、回遊方法、滞在時間
 - ・コンコースからの退場方法



味の素スタジアムの設置状況



豊田スタジアムの処理結果

2. ハンディカメラ（観客席）

市販のハンディカメラ

人工知能技術によって人領域を抽出し、マスクの有無を識別

- ・客席からの退場方法
- ・マスク着用率
- ・応援方法*

*は今後検討予定



等々力陸上競技場の設置状況



豊田スタジアムの処理結果

3. マイクロホンアレイ（観客席）

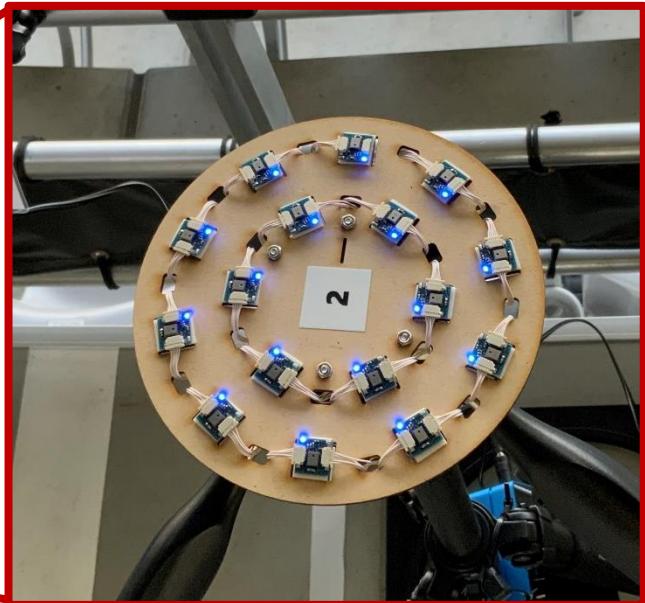
16個のマイクロホンを配置した装置
人工知能技術によって音イベントを抽出

- ・非意図的な歓声の頻度
- ・非意図的な歓声の方向*

*は今後検討予定



豊田スタジアムの設置状況

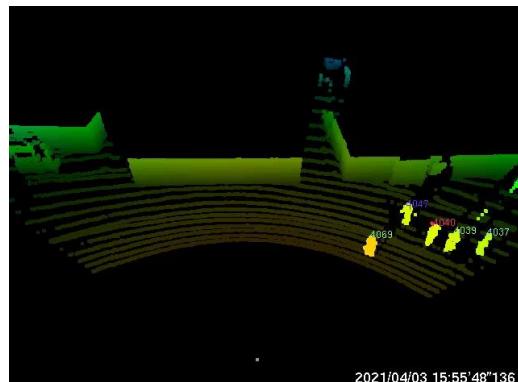


マイクロホンアレイ

レーザーレーダーによる混雑具合の把握



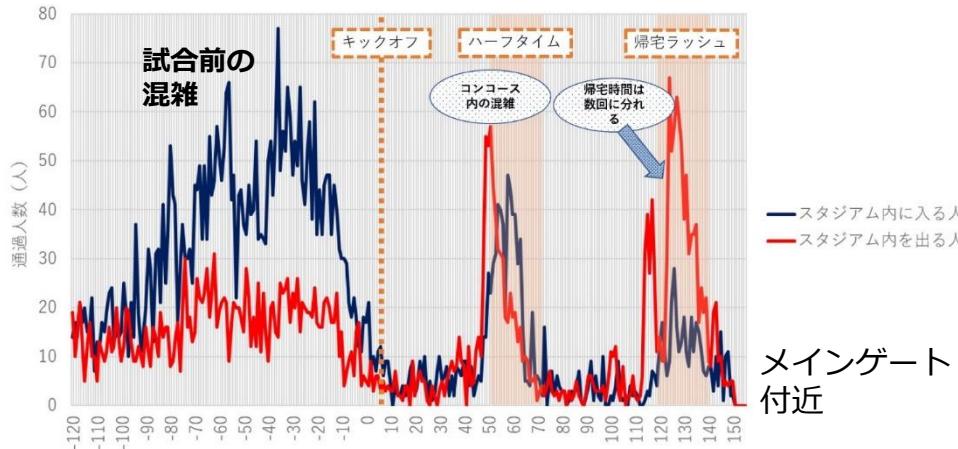
豊田スタジアムの設置状況



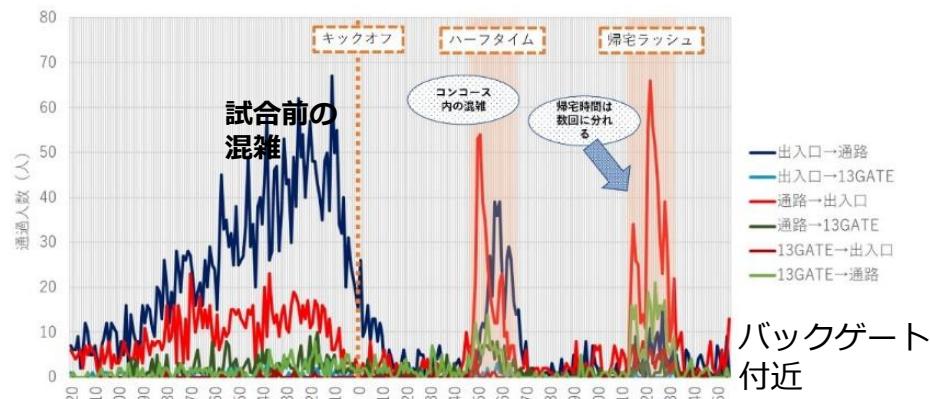
豊田スタジアムの処理結果



マスク着用や
分散退場のアナウンス



メインゲート
付近



◎ コンコースの人流解析

分散退場には一定の効果（メインゲートはそれでも混雑）
試合前の混雑をどう減らすかは要検討

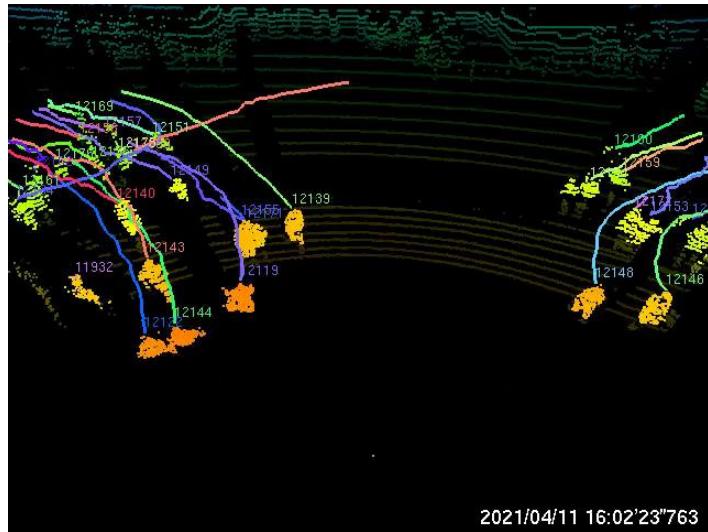
レーザーレーダーによる混雑具合の把握



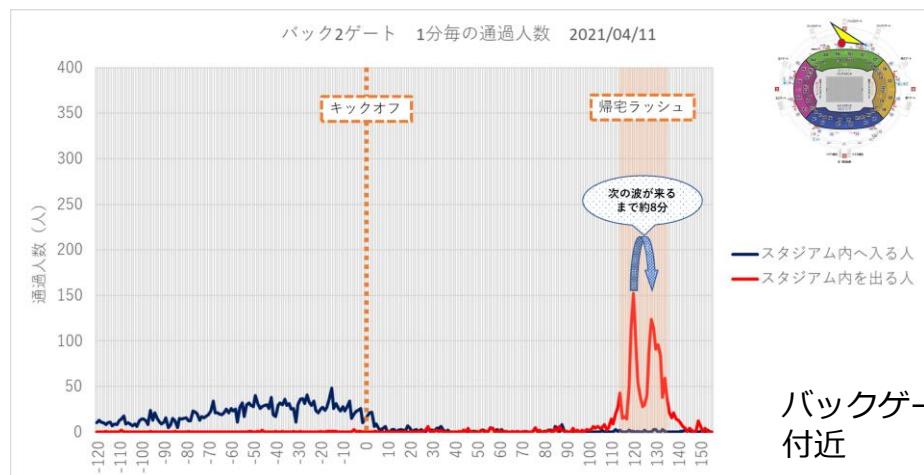
味の素スタジアムの設置状況



分散退場のアナウンス



味の素スタジアムの処理結果



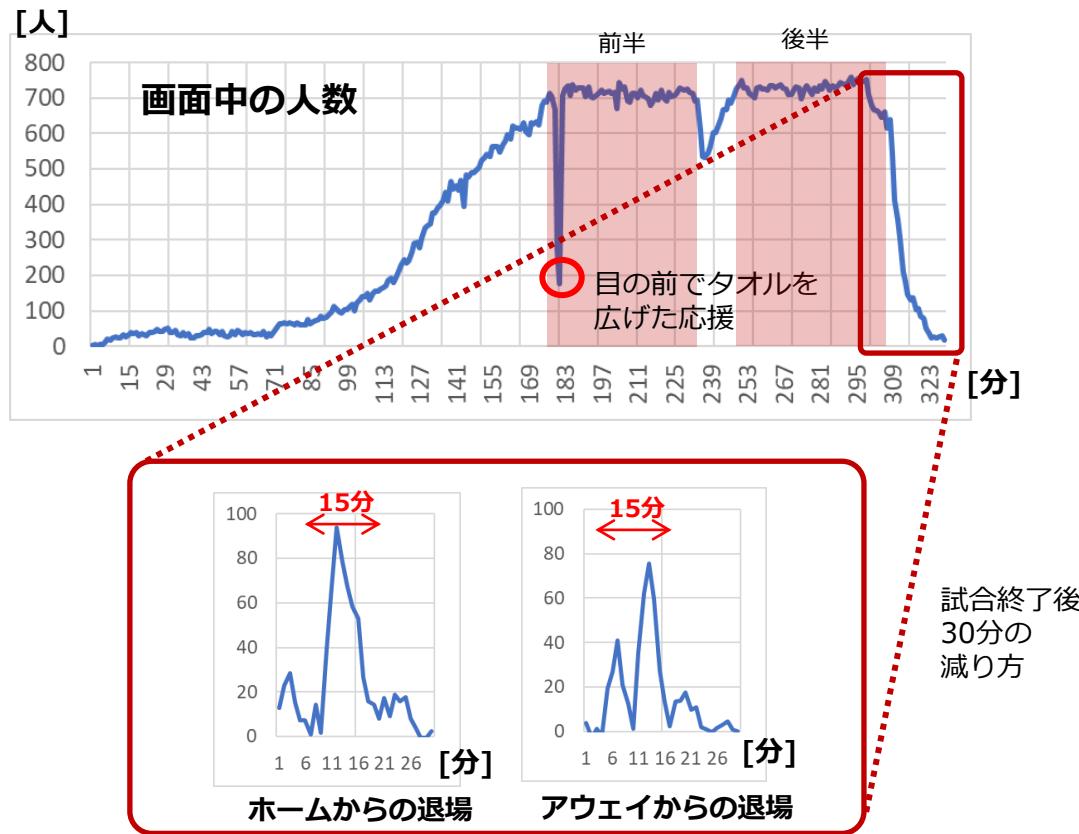
◎ コンコースの人流解析

分散退場には一定の効果（メインゲートはそれでも混雑）
試合前の混雑や駅への集中をどう減らすかは要検討

ハンディカメラによる混雑具合の把握



豊田スタジアムの処理結果





豊田スタジアムの処理結果

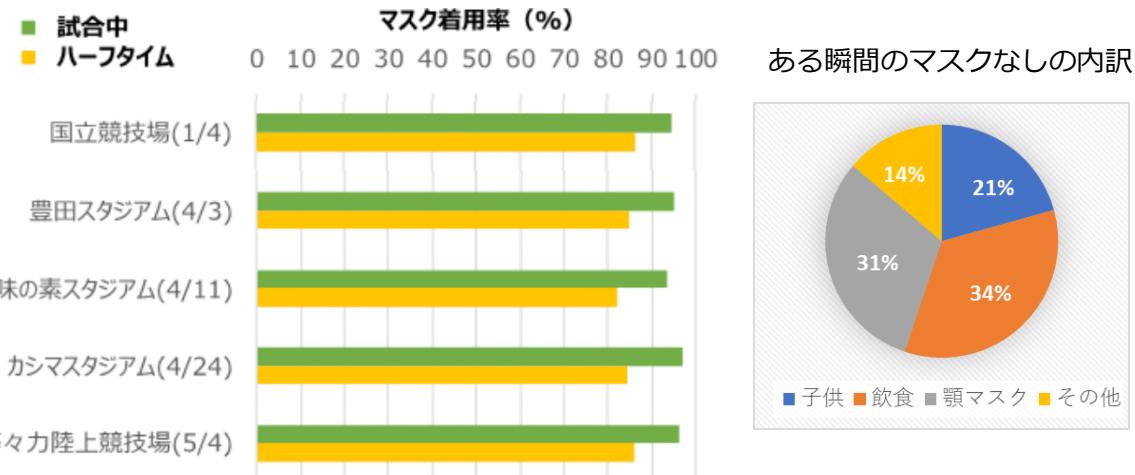
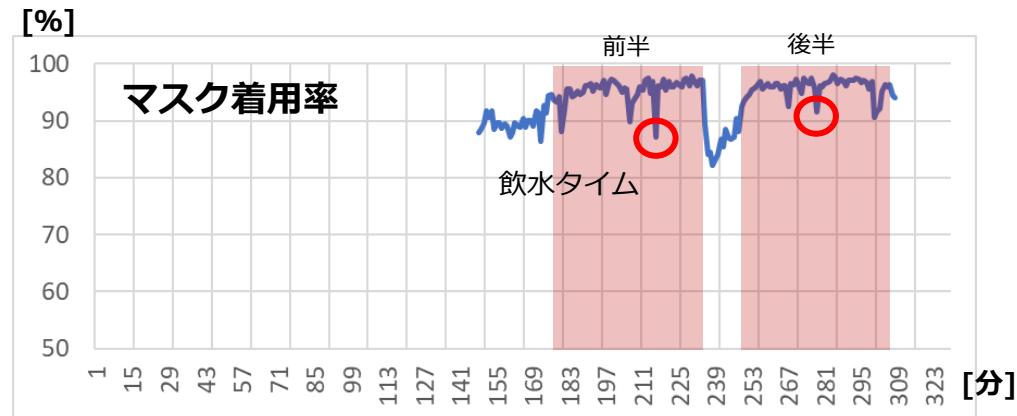


◎ マスク着用率

試合中の平均95.2%
(最大97.0%、最小93.5%)

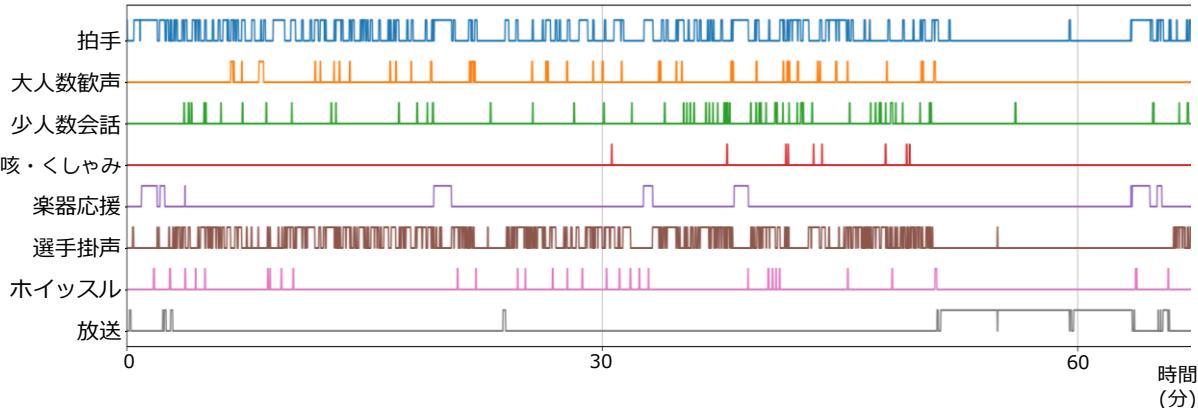
ハーフタイムの平均85.6%
(最大85.8%、最小82.1%)

前半より後半が若干高い傾向
ホームが若干高い傾向

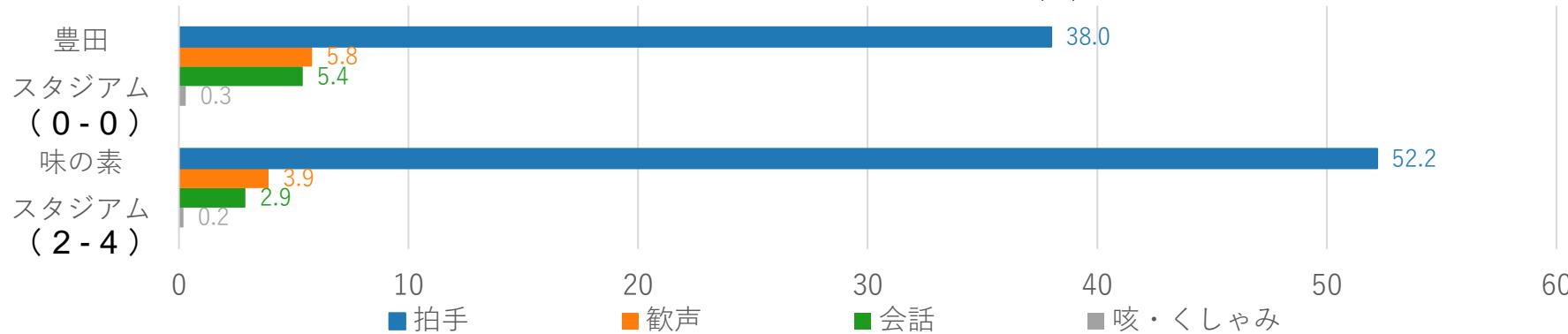




豊田スタジアムの処理結果



試合開始から2時間のイベント頻度 (%)



- 拍手は試合中の45.1% (38.0%, 52.2%) となっており、主な応援手段となっている。
- 大人数が一斉に歓声をあげる頻度は平均 4.8% (5.8%, 3.9%) であった。
- また、数人での会話は平均 4.1% (5.4%, 2.9%) であった。
- より正確に検出できるようAIシステムを改良中。

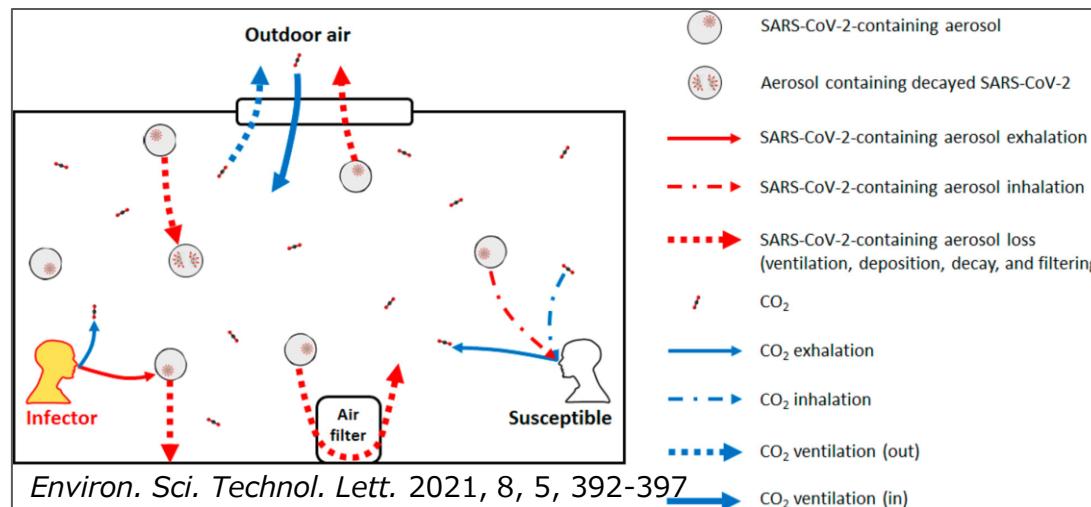
※ 検出性能 (F1スコア) は、拍手、楽器応援、ホイッスル、放送は90%程度、選手掛け声80%，歓声70%，少人数会話が40%，咳・くしゃみは30%程度

- ・レーザーレーダーやハンディカメラ、マイクロホンアレイを用いたスタジアムでの退場方法やマスク着用率、非意図的な歓声頻度の評価
- ・今後の課題
 - ・マスク着用率の継続的な計測（特にこれから夏場にかけて）
 - ・マスク着用や分散退場のアナウンス効果の検証
 - ・電車の時間を考慮した分散退場効果の検討
 - ・人工知能技術の精度向上
 - ・総合的なリスク評価への応用



大規模集客イベントなどにおける CO₂計測の意義と結果

- 呼気に含まれるCO₂は空間に広がるため、CO₂濃度は、密集や密閉の状況の目安（空間の換気状態を知る指標）になる。
- ヒトの呼気中のCO₂濃度は、安静時：約1%（10000 ppm）～激しい活動時：約9%（90000 ppm）。一般大気：約0.04%（400 ppm）。
- 感染者の口からは、CO₂とともに、ウイルスが付着した小さな粒子（エアロゾルあるいは飛沫核と称されることもある）が、空気中に放出される。
- CO₂濃度は室内環境におけるエアロゾル感染リスクの代用指標（Proxy）として有効。
(e.g., Peng and Jimenez 2021)
- エアロゾル感染の低減には、換気状態をよくすることが有効。



- スタジアムや球場等の大規模集客施設には、観客席、コンコース、トイレ、VIPルーム、控室等の様々な屋内外の空間が存在
- 屋内外の空間のCO₂濃度をモニターすることで
 - **屋内外の換気（希釈）状態**
 - **空気が淀みやすい空間（換気の悪い空間）や時間帯の把握（検討すべき局所の把握）**
 - **換気回数の算出**
 - **対策の効果の定量化**

- ビル管理法の環境衛生管理基準：
1000 ppm (目標値)、1500 ppm (推奨値)、
5000 ppm (許容限度)
- 学校保健法の学校環境衛生基準： 1500 ppm
- 労働安全衛生法の事務所衛生基準規則： 5000 ppm
(空気調和設備により調整可能な場合は 1000 ppm)

これらの基準値は、CO₂自体の人体への影響あるいは/および換気の基準を勘案して設定された。感染症対策としての換気の指標として、1000 ppm等の基準値が設定されたわけではない

※ 根拠や設定経緯、測定値の解釈については、**奥田ら(2021)** を参照されたい

奥田ら(2021), “ウイルス感染症対策としてのCO₂濃度の利用にむけた値の解釈について”, リスク学会誌

実施内容

複数のCO₂計測器をスタジアム・アリーナ等の屋内外（例えば観客席、コンコース、トイレ、売店、控え室など）に設置し、イベントが開催される日の開場から閉場までの間、CO₂濃度を連続して計測



MCH-383SD J

<https://satosokuteiki.com/item/detail/94>



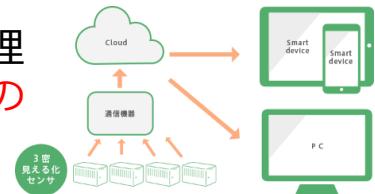
TR-76Ui

https://www.tandd.co.jp/product/tr7ui_series.html

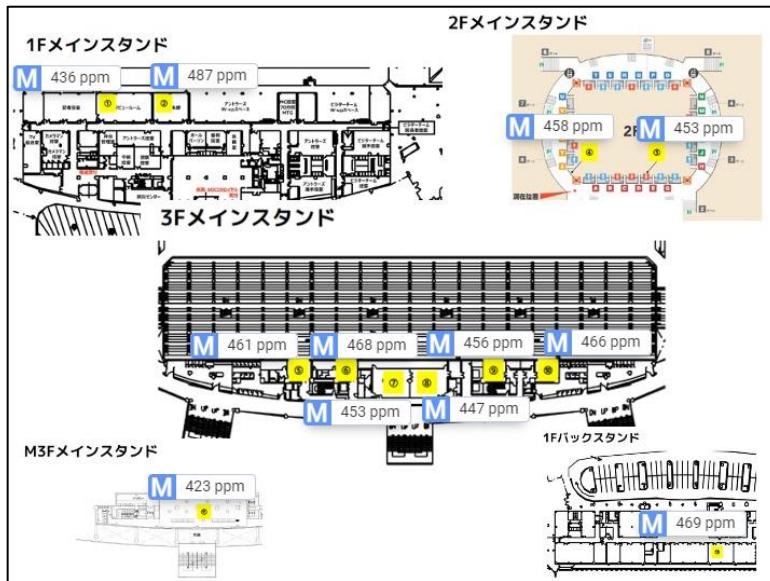


旭化成製 CO₂計測器
3密見える化センサ

測定方式	特徴
 MCH-383SD J	<ul style="list-style-type: none"> 電源 (ACアダプタ) 必要 (持ち運び不向き) SDカードによる大量データの保存が可能
 TR-76Ui	<ul style="list-style-type: none"> 電源 (ACアダプタ) あるいは電池で利用可能 記録データはUSB接続でパソコンに吸い上げ 記録可能データ数は8000点
 旭化成製 CO ₂ 計測器 (リアルタイムCO ₂ 計)	<ul style="list-style-type: none"> 電源必要 クラウド上でのデータ管理 リアルタイムでの測定値の確認が可能



比較的安価で実用性が高い

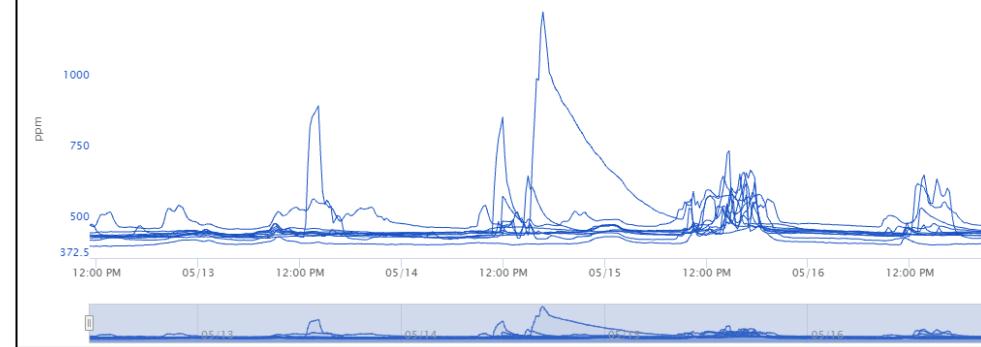


M3ラウンジ	貴賓室①	未賓室②	未賓室③	未賓室④
422 ppm	447 ppm	456 ppm	466 ppm	460 ppm
05/17/2021 11:11:15 AM JST				
未賓室③	貴賓室②	ミュージアム	女子トイレ (LIXILトイ...)	医務室
468 ppm	453 ppm	469 ppm	453 ppm	458 ppm
05/17/2021 11:11:15 AM JST	05/17/2021 11:11:15 AM JST	05/17/2021 11:11:00 AM JST	04/25/2021 2:48:00 PM JST	05/17/2021 11:11:00 AM JST

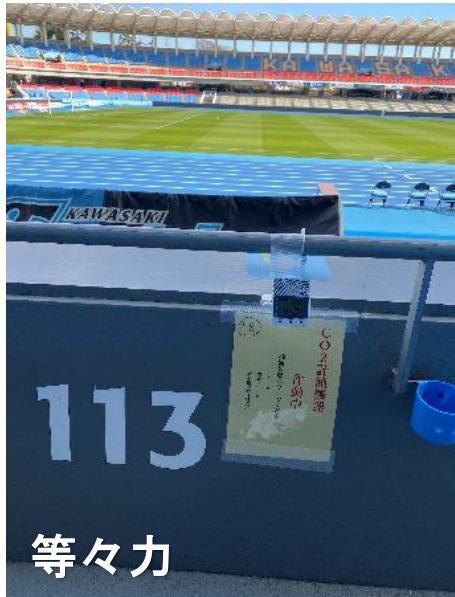
インタビュールーム	運営本部（仮）
436 ppm	487 ppm

Trends Chart

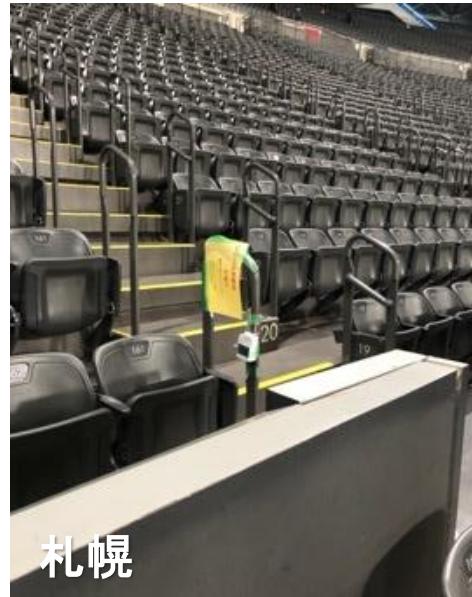
1H 12H 1D 5D 30D LIVE



設置場所の様子



等々力



札幌



埼玉



国立



等々力



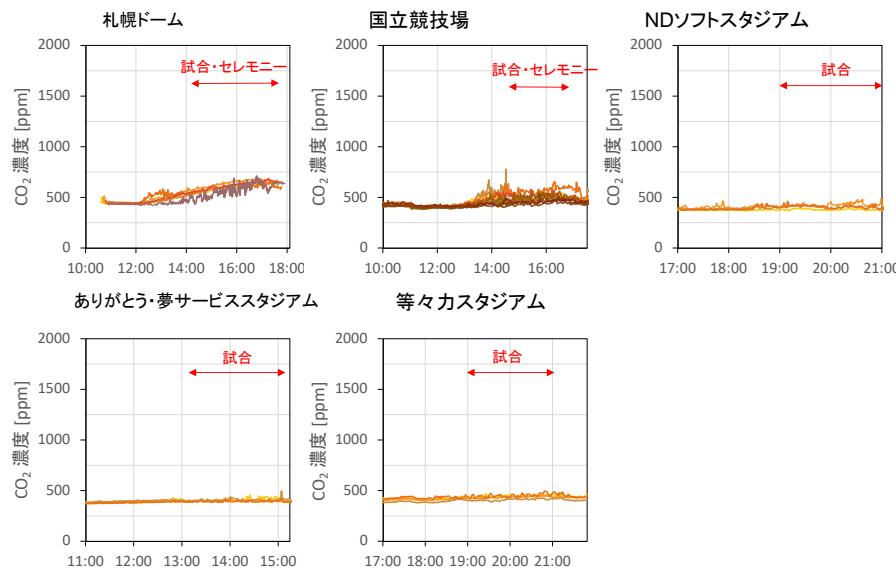
国立



国立

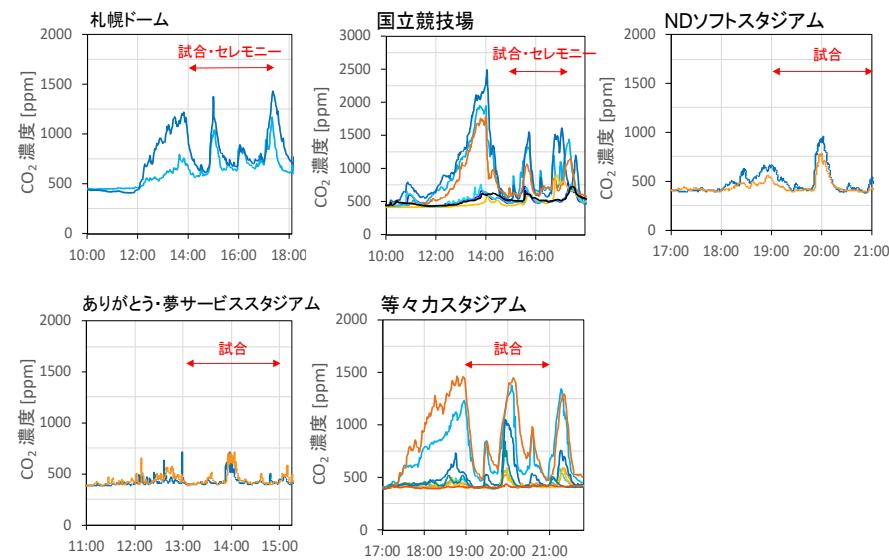
観客席やトイレのCO₂濃度の調査結果

観客席

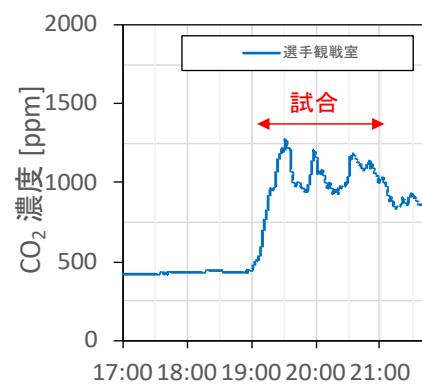
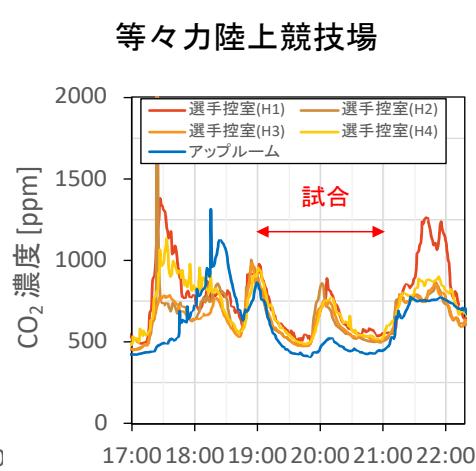
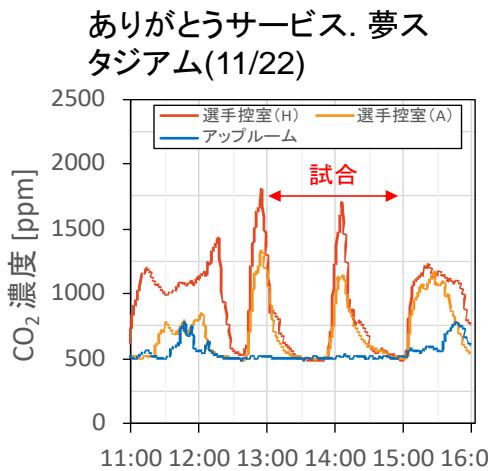
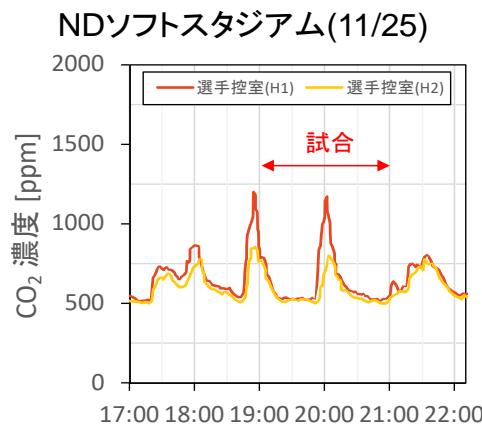
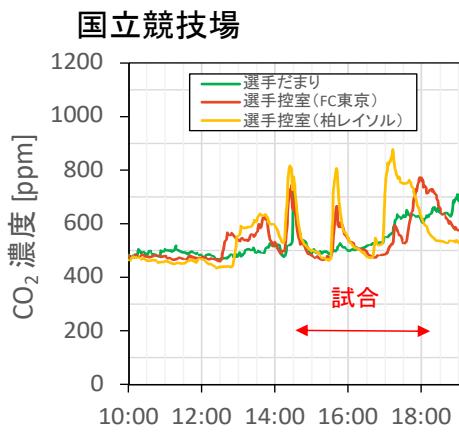
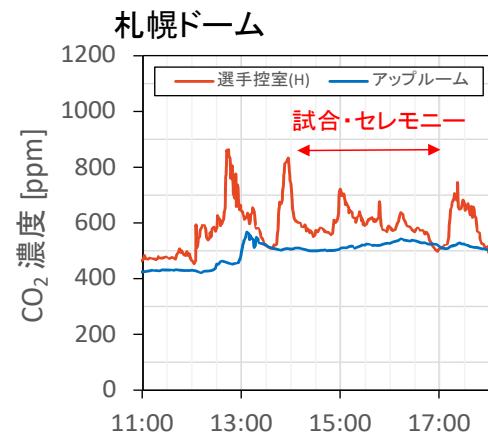


屋外・ドーム型とともにCO₂濃度の大幅な上昇は見られること、つまり空気が滞留していないことを確認

トイレ



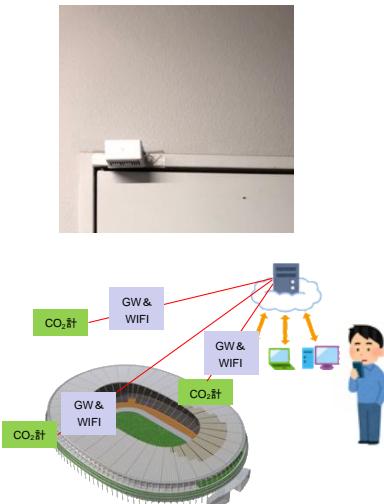
一部のスタジアムの一部のトイレにおいては、CO₂濃度の大幅な上昇が確認された。トイレの利用人数、サイズ、構造等により差が生じたと考えられる

スタジアム内の選手控室などのCO₂濃度の調査結果

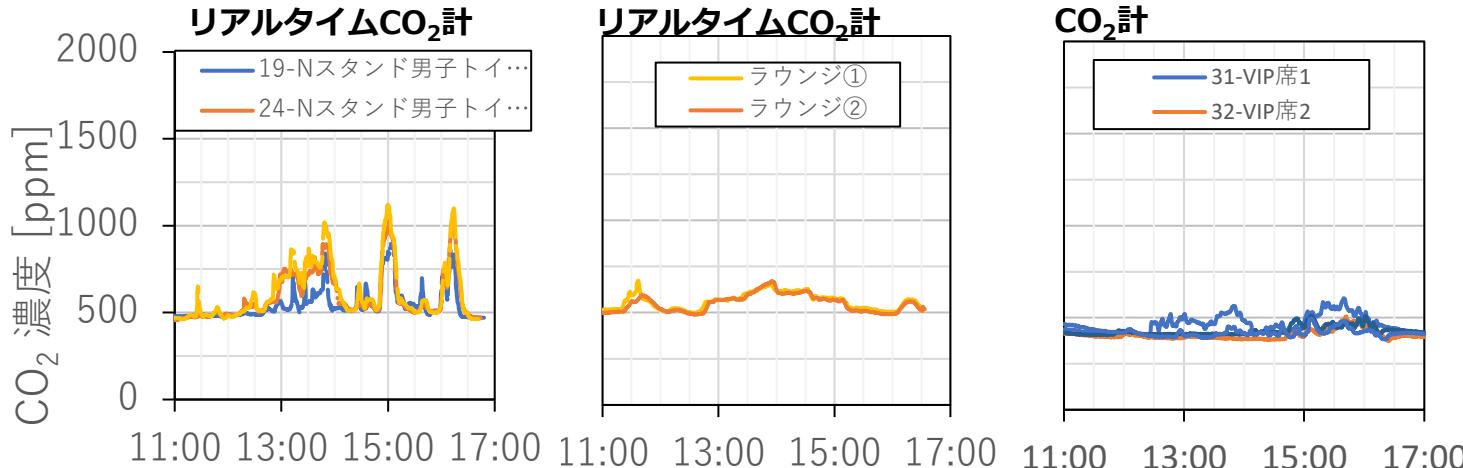
試合前、ハーフタイム、試合終了後に上昇し、試合中に低下することが確認され、CO₂濃度は800～2000 ppm程度まで上昇

豊田スタジアムおよび 味の素スタジアムにおけるCO₂計測の結果

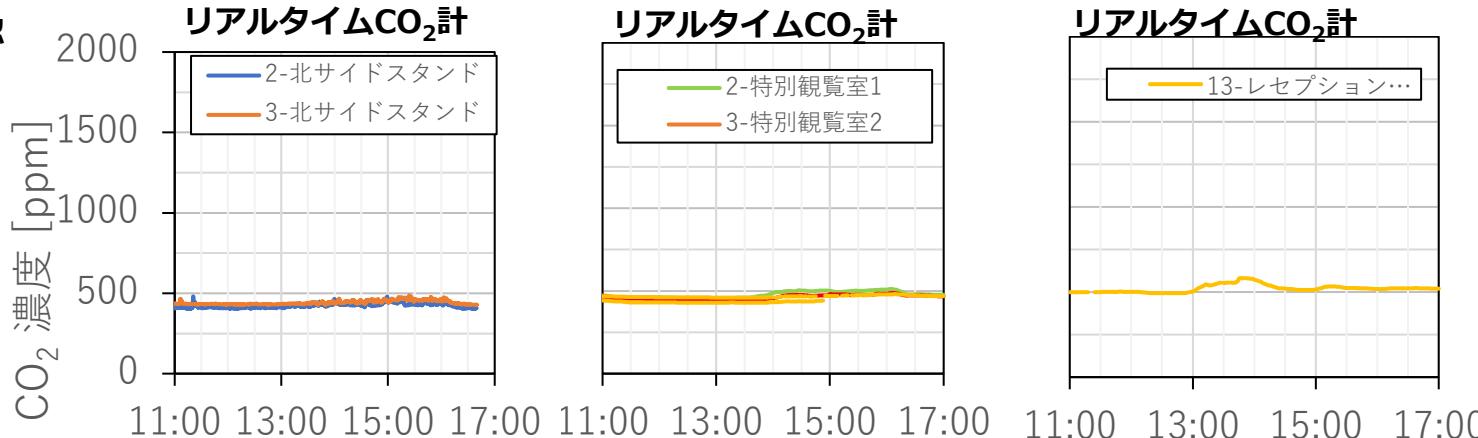
リアルタイムCO₂計



豊田スタジアム リアルタイムCO₂計11地点 CO₂計 34地点



味の素スタジアム リアルタイムCO₂計12地点 CO₂計 30地点



- ・スタンドや、VIP席、ラウンジ等の個室では密な状況は観測されなかった
- ・一部トイレでは、CO₂濃度の上昇が一時的に確認

- CO₂の基準値（例えば1000ppm）は「換気の悪い密閉空間」であるかどうかを判断する目安となるが、感染リスクの「安全基準」ではない（奥田ら 2021）
- CO₂の測定値が比較的高い空間については、その原因を調べ、感染リスク低減の視点から（基準値を超えたからではなく）、対策の必要性を検討することが重要
- 場所や状況に応じて、空間の換気能力の増強、空気清浄機の活用、混雑緩和のための人の誘導、利用人数の制限等の対策が考えられる

Wells-Riley 感染リスクモデル

$$P = 1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q}}$$

$$Q = Vm$$

P	: 感染リスク
I	: 感染者数 [人]
q	: 感染性粒子発生量 [quanta/h]
p	: 呼吸量[m ³ /h]
t	: 滞在時間[h]
Q	: 換気量[m ³ /h]
V	: 空間体積[m ³]
m	: 換気回数[回/h]

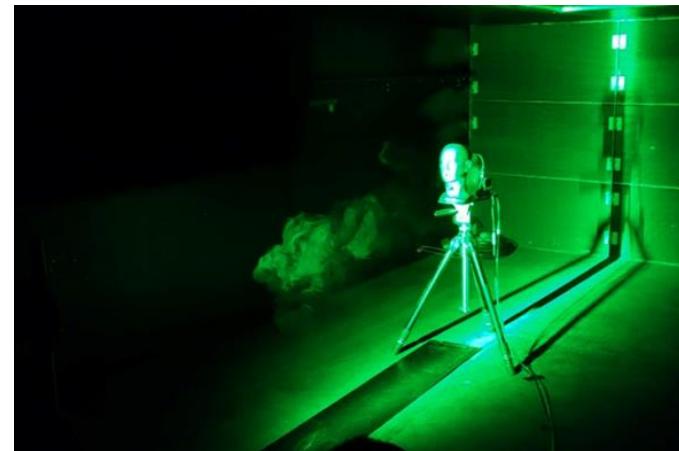
エアロゾル感染リスクを減らすためには

感染者数
ウイルス発生量
呼吸量
滞在時間を
小さく

換気回数
空間を
大きく

- 観客席やコンコースのCO₂濃度は、700ppm程度以下であり、換気状態は良好であることを確認
- トイレでは一部、CO₂濃度が1000ppm超まで上昇することもあるが、場所間のばらつきが大きい
→ 滞在時間が短いためリスクは低いと考えられるが、空気質の改善の観点から対策の検討はありうる
- 選手控室などスタジアム内の個室は、CO₂濃度が比較的高くなることがあり、一時的に密な状況が生じている可能性が考えられた
→ 空気清浄機の利用、換気の強化、人数制限、広めの部屋の使用

- 選手控室等における換気率の調査 → リスク評価での活用
- エアロゾル感染対策の効果の評価
- 観客席等における飛沫・飛沫核の拡散状況の可視化と定量化



全体のまとめ

- ・大規模集客イベントにおける調査の全体像と感染リスク評価（保高）
- ・レーザーレーダーを用いた人流解析およびハンディカメラによるマスク着用率、マイクロホンアレイによる非意図的な歓声頻度の評価（大西）
- ・大規模集客イベント等におけるCO₂計測の意義と結果（内藤）

今後の課題

- ・計測の継続と詳細化によるより現実に即したリスク評価



国立研究開発法人 産業技術総合研究所
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)