

# 積載方法・積載位置最適化による 品質リスクマップマニュアル



研究開発とSociety5.0との橋渡しプログラムのうち農林水産省が実施する施策  
(商品コード標準化・ソースマーキング技術による農林水産物・食品流通の高度化)

(公益財団法人) 流通経済研究所  
九大グループ

九州大学・福岡県・熊本県・NECソリューションイノベータ・西日本鉄道(株)

令和8年3月

## はじめに

2024年問題により、トラック運転手の労働時間規制が強化され、物流の停滞が懸念されています。このため、流通の効率化が急務となっており、輸送手段の見直しが求められています。特に、トラック輸送から鉄道や船舶などへのモーダルシフトを進めることで、人手不足の解消や環境負荷の軽減にもつながると期待されています。そこで、各輸送形態における輸送環境を調査し、「積載方法最適化・積位置による品質リスクマップマニュアル」を作成しました。本資料が物流関係者およびの一助となれば幸いです。なお、ご利用にあたっては、以下の点についてご留意頂きますようお願い申し上げます。

- 1) すべて使用者の責任において使用・活用して下さい。
- 2) 本資料の利用により発生したいかなる損害についても本グループはその責任を負わないものとします。
- 3) 本資料は、加筆・修正する場合があります。
- 4) 各表の見方や評価基準等については共通項目をご参照下さい。

# 目次

## I 共通項目

- 1 輸送試験手段別内容 ..... 1
- 2 各輸送手段の仕様（サイズ・吹出位置）
- 3 測定方法 ..... 2
  - 1) 満載想定方法
  - 2) 輸送環境測定機器

## II 輸送方法の違いにおける品質リスクマップ

- 1 トラック（夏季・冬季） ..... 3
- 2 JR（夏季・冬季） ..... 6
- 3 船舶輸送用コンテナ【蔵置試験】
  - 1) 20フィートコンテナ（夏季・冬季） ..... 9
  - 2) 40フィートコンテナ（夏季・冬季） ..... 12
- 4 海外輸出試験【船便】20ft（冬季）シンガポール ..... 15
- 5 PSD（パワースペクトル密度） ..... 20

## III 質量減量係数による品質予測 ..... 21

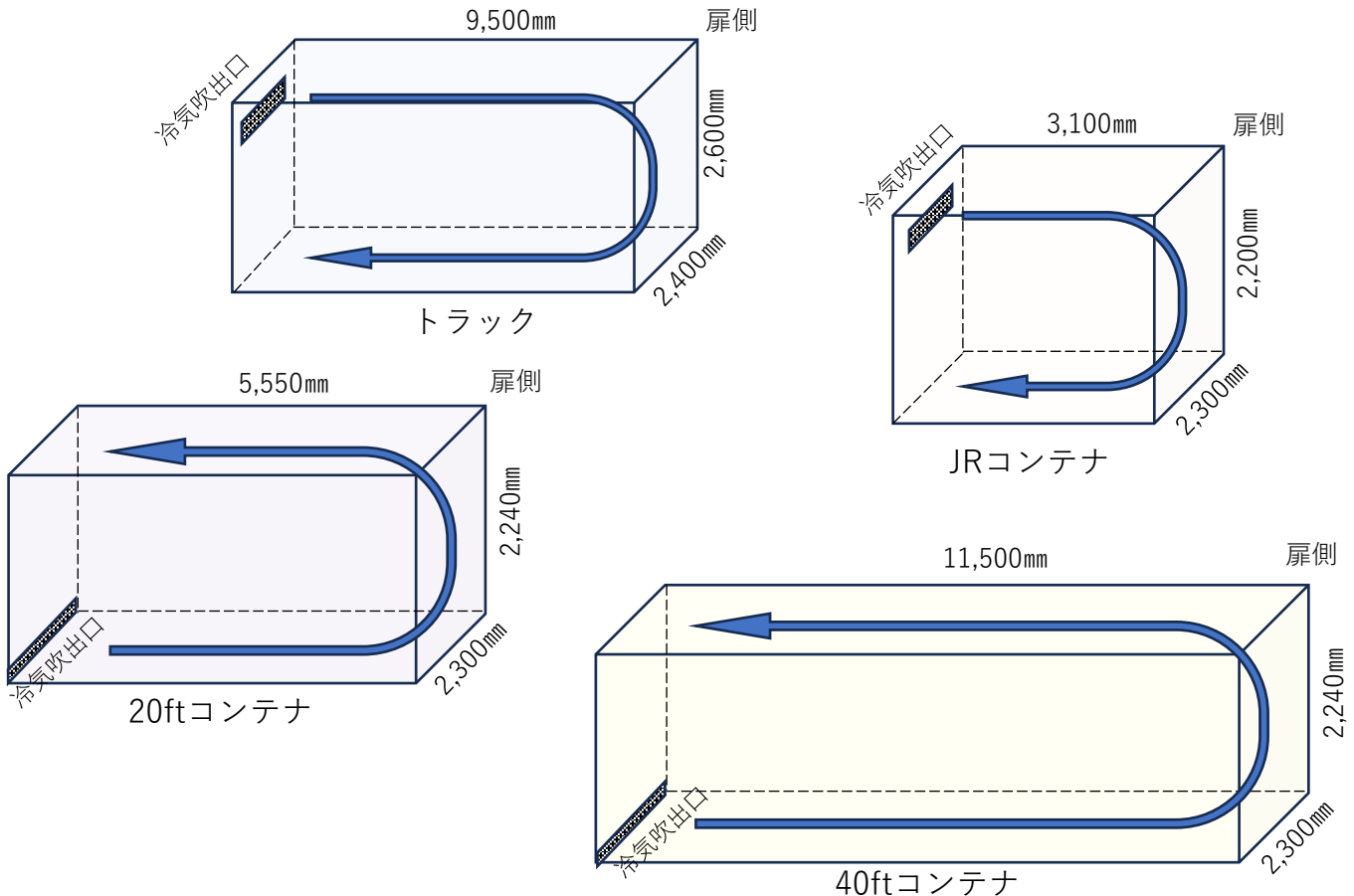
# Ⅰ 共通項目

## 1 輸送手段別試験内容

輸送手段	夏季	冬季
①トラック	福岡→大阪 R6.6.27～6.29	福岡→大阪 R6.2.28～2.29
②JRコンテナ	熊本県八代市→関東（千葉県） R7.8.26～8.28	福岡→大阪 R6.1.23～1.24
③蔵置試験 ※香港輸出想定	※20・40フィートコンテナ 【博多港】 R6.8.23～9.2	20フィートコンテナ【久留米資源セ】 40フィートコンテナ【博多港】 R5.12.7～12.18
④海外輸出実証	未実施	シンガポール R7.1.23～2.10

※博多港は博多港ヤードにて試験。久留米資源セは福岡県農林業総合試験場 資源活用研究センター設置のコンテナを使用

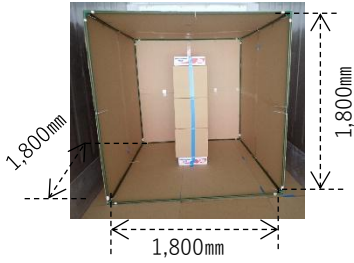
## 2 各輸送手段の仕様（サイズ・吹出位置）



### 3 測定方法

#### 1) 満載想定方法

【R5年度】

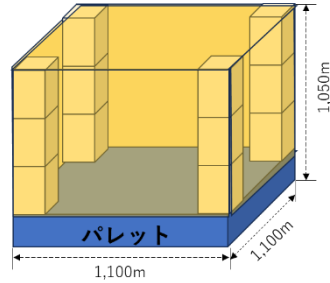


ジョイント



農業用支柱(1,800mm・径16mm)とジョイントで立方体を組み、周りに段ボール板を張り付けたブロックを作成。このブロックを各輸送手段の荷台に置き、満載を想定。

【R6・7年度】



市販のパレットに段ボール3箱をバンドし、柱にして、周りに段ボール板を張り付けたブロックを作成。このブロックを各輸送手段の荷台に可能な限り積載して満載を想定。

#### 2) 輸送環境測定機器



★ハイグロクロン  
(ボタン型温湿度計)

※荷台壁面、段ボールブロック内、青果物箱内温度測定に使用



★おんどとり

(TR-71wb/TR-71wf/TR-71nw)

※青果物箱内温度および品温測定に使用



★おんどとり

(TR-72wb/TR-71wf)

※段ボールブロック内および青果物箱内湿度測定に使用



★SHOCK RECORDER  
(G-MEN 20G)

※青果物箱内振動加速度測定に使用



★SHOCK RECORDER  
(G-MEN 100G)

※青果物箱内振動加速度測定に使用



★輸送環境記録計  
(DER-1000)

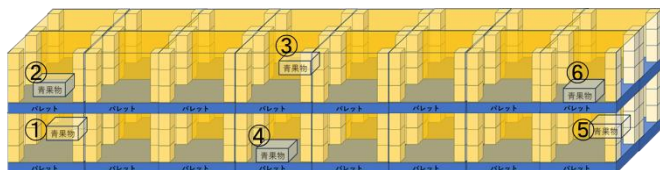
※各輸送手段の荷台の詳細な振動加速度測定に使用

## II 輸送方法の違いにおける 品質リスクマップ

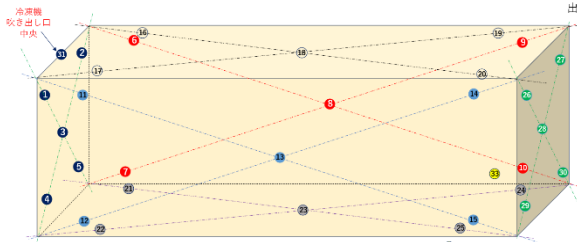
# 1 トラック (夏季・冬季) ①

## 【夏季】

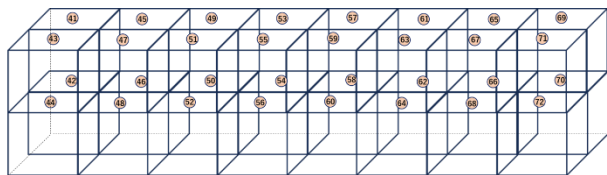
調査日 : R6.6.27~6.29  
 輸送区間 : 福岡⇒大阪



← 運転席側      ↑ 段ボールブロック設置方法      扉側 →



↑ センサ設置方法



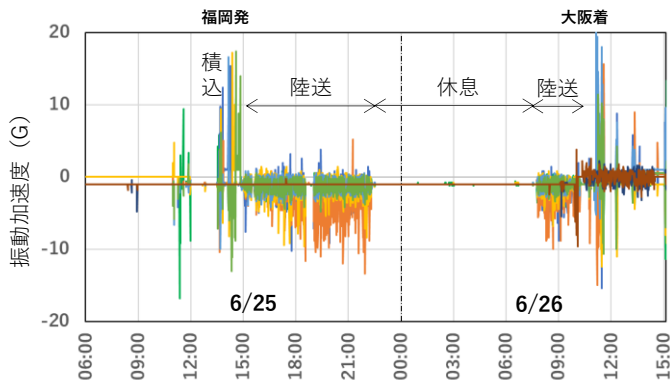
← 運転席側      ↑ センサ設置方法 (段ボールブロック内)      扉側 →



↑ 積載状況



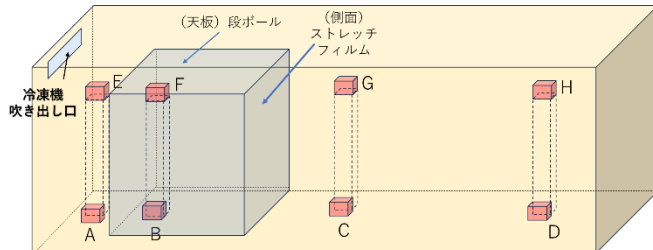
温度センサ



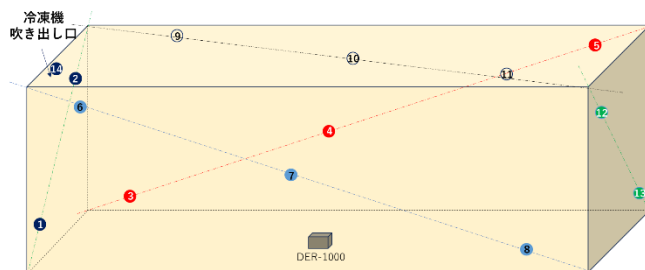
振動加速度 (上下方向)

## 【冬季】

調査日 : R6.2.28~2.29  
 輸送区間 : 福岡⇒大阪



↑ 青果物積載位置

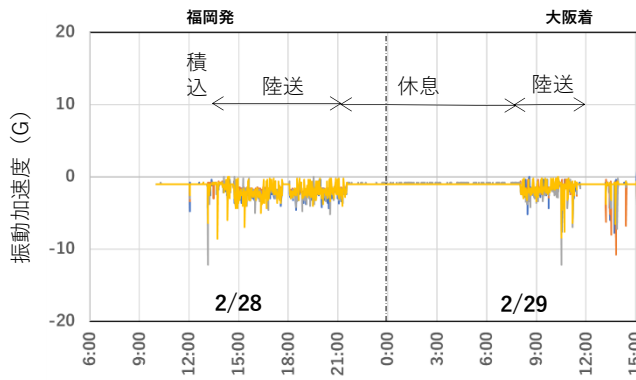


↑ センサ設置方法



↓ ブロック写真  
 (天板) 段ボール  
 (側面) ストレッチフィルム

↑ 積載方法

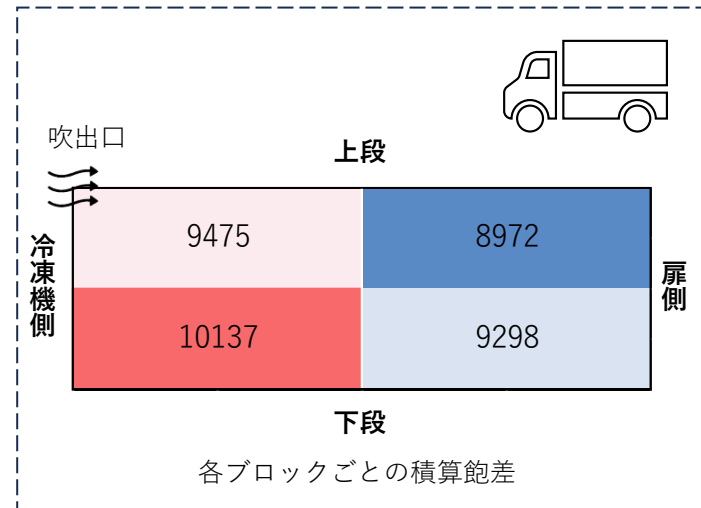
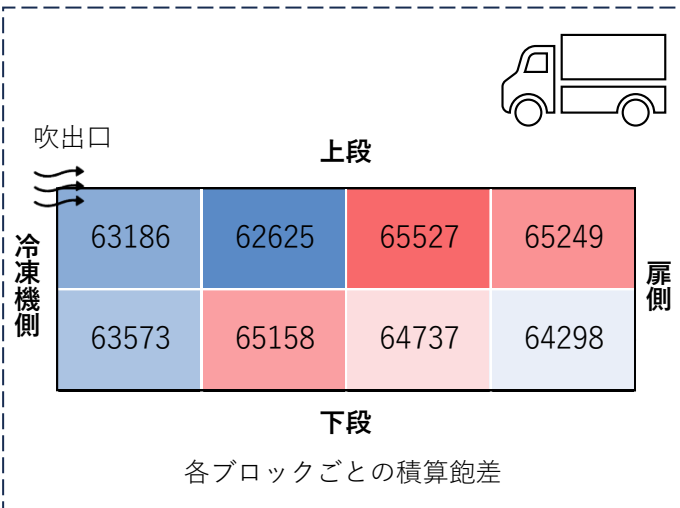
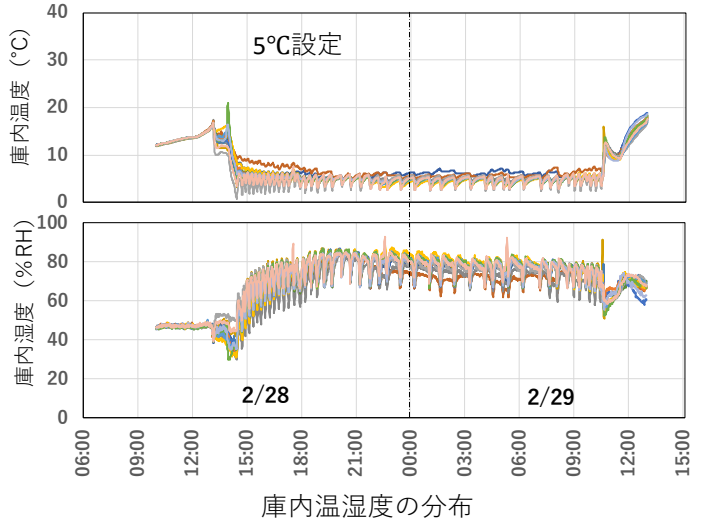
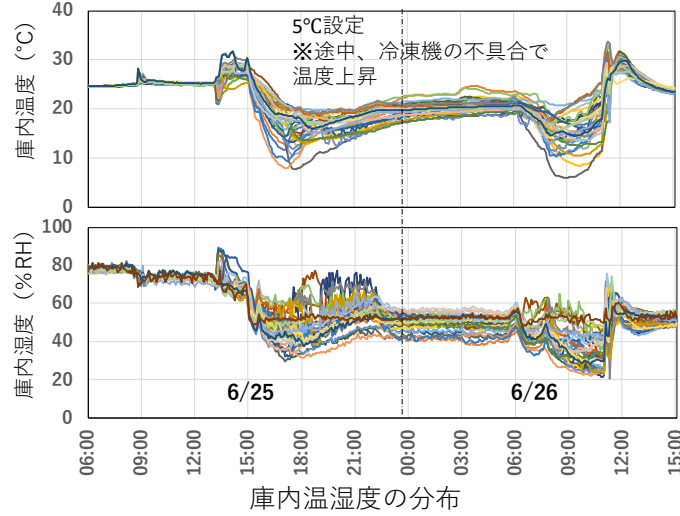
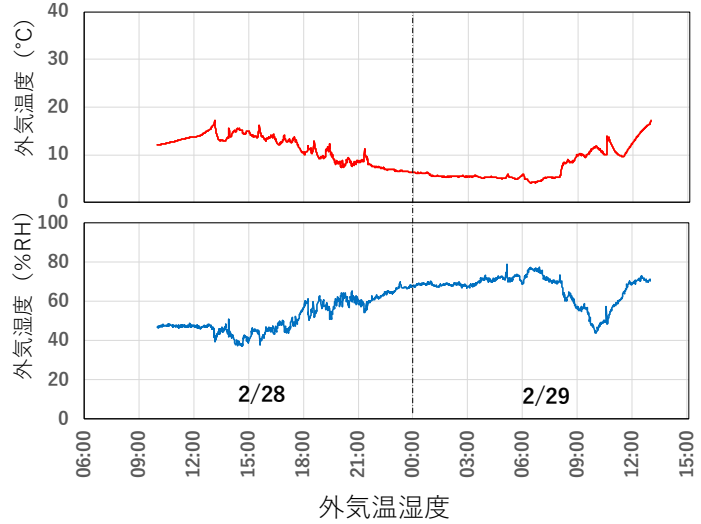
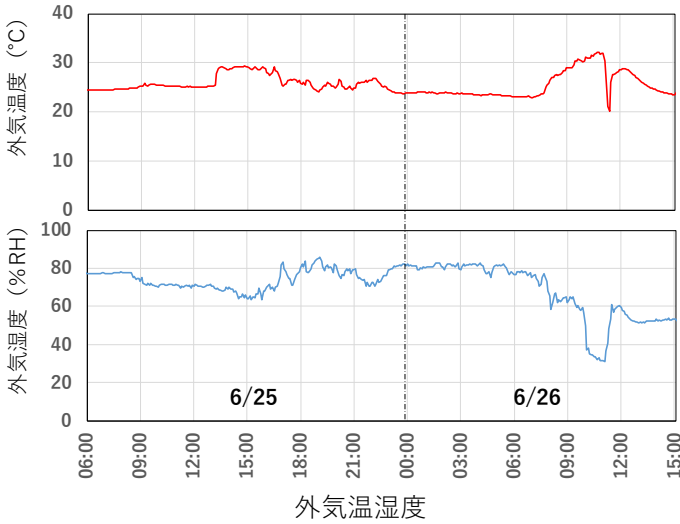


振動加速度 (上下方向)

# 1 トラック (夏季・冬季) ②

【夏季】

【冬季】



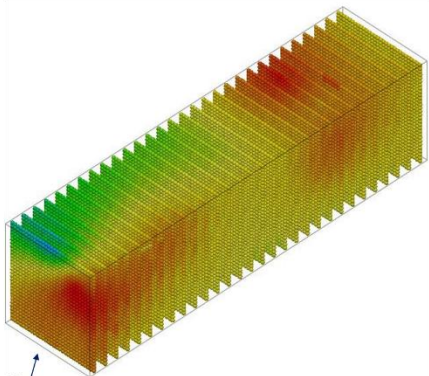
# 1 トラック③

**【夏季】**

**【冬季】**

## 庫内温度分布

※6/26 5:00 - 6/26 5:25 (動画)



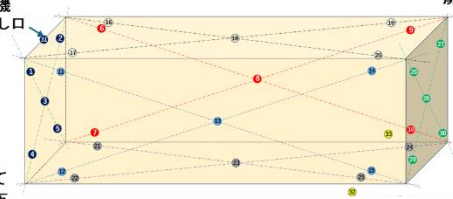
冷凍機(運転席側)

冷凍機  
吹き出し口

扉側



※進行方向に向かって  
左側から見た温度分布



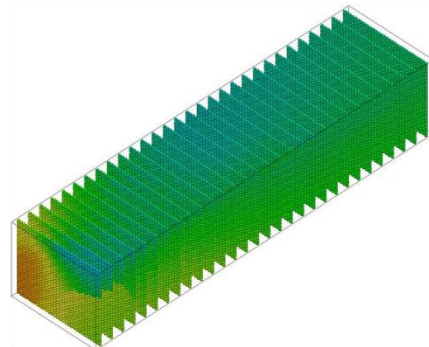
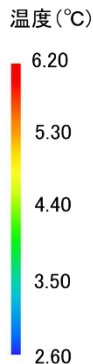
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/HXjOtTX7He4>



## 庫内温度分布

※2/29 3:22 - 4:07 (動画)



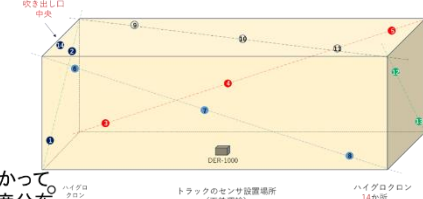
冷凍機(運転席側)

冷凍機  
吹き出し口  
中央

出入口



※進行方向に向かって  
左側から見た温度分布



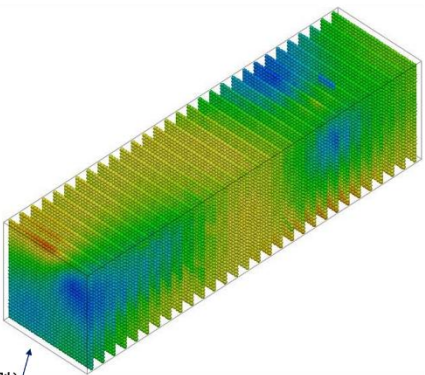
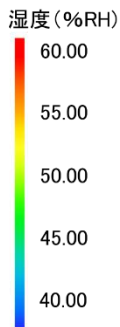
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/xRMMDUg9uXo>



## 庫内湿度分布

※6/26 5:00 - 6/26 5:25 (動画)



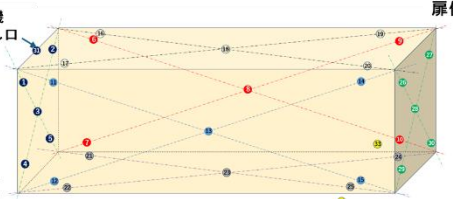
冷凍機(運転席側)

冷凍機  
吹き出し口

扉側



※進行方向に向かって  
左側から見た湿度分布



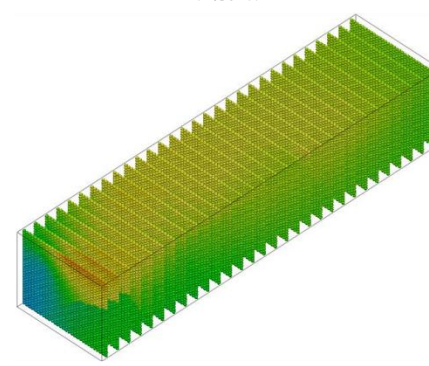
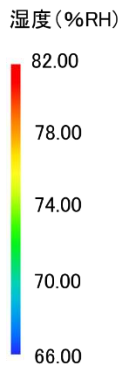
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/iis0Ye1OPSS>



## 庫内湿度分布

※2/29 3:22 - 4:07 (動画)



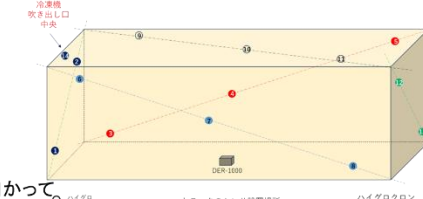
冷凍機(運転席側)

冷凍機  
吹き出し口  
中央

出入口



※進行方向に向かって  
左側から見た湿度分布



詳しい動画はこちらから↓

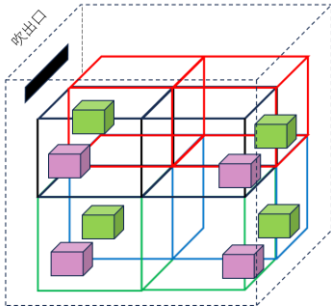
<https://youtu.be/FWT0xgWmMPY>



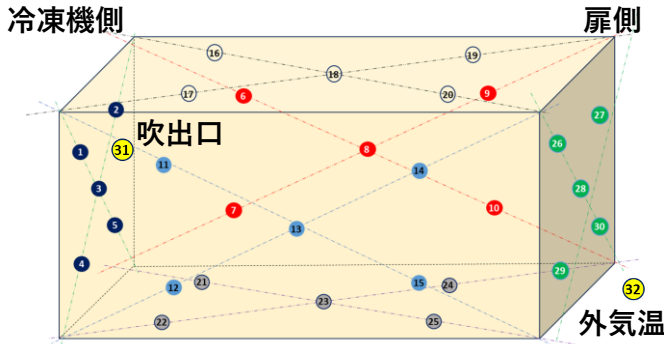
## 2 JRコンテナ (夏季・冬季) ①

【夏季】

調査日 : R7.8.26~8.28  
 輸送区間 : 熊本⇒千葉



↑ 青果物積載位置

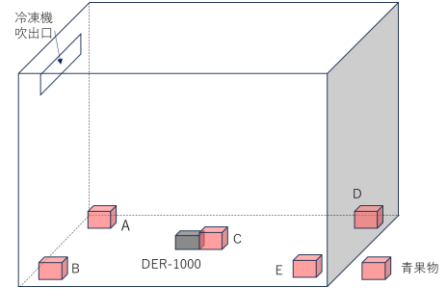


↑ センサ設置方法

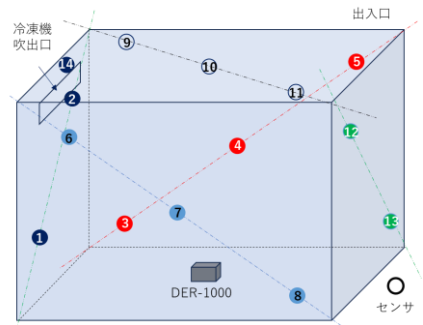


【冬季】

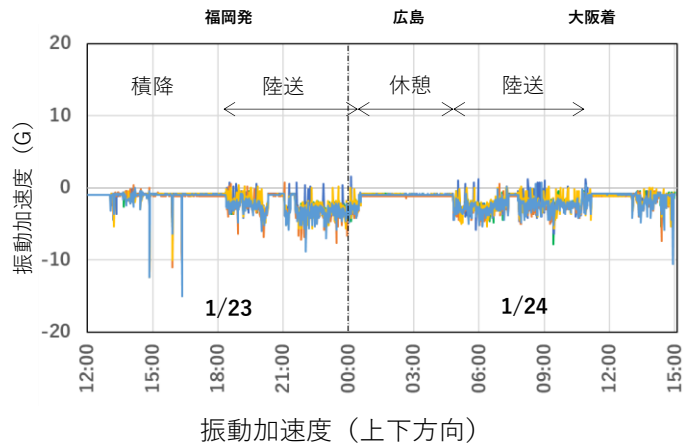
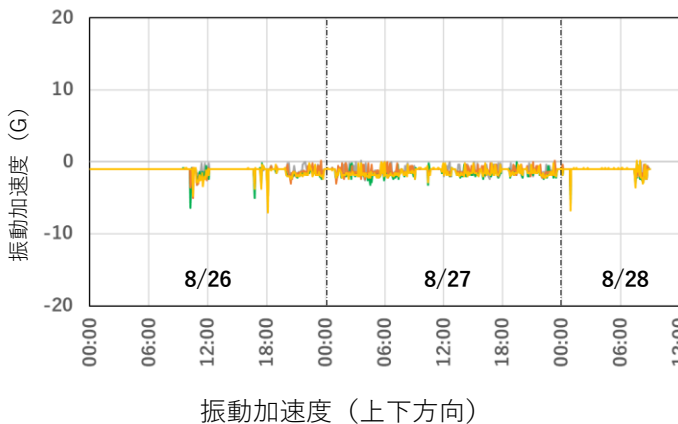
調査日 : R6.1.23~1.24  
 輸送区間 : 福岡⇒大阪



↑ 青果物積載位置



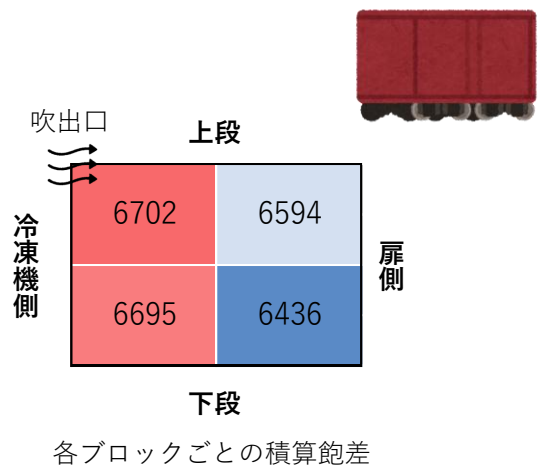
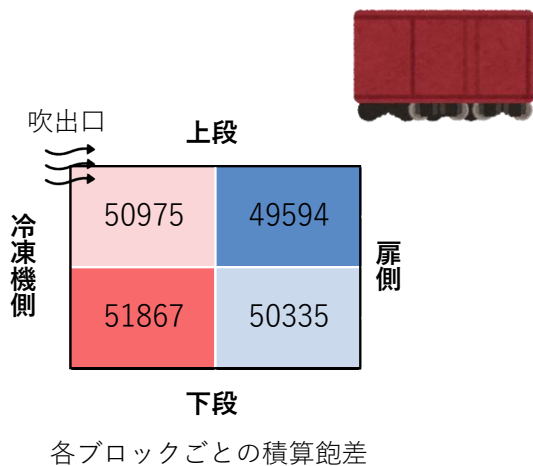
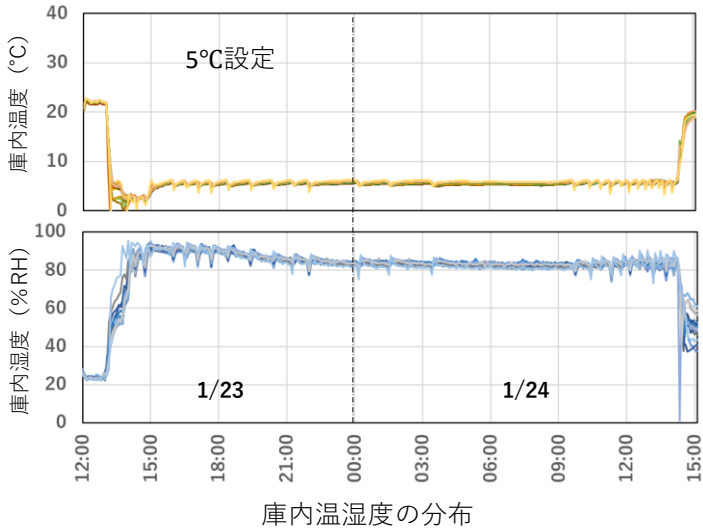
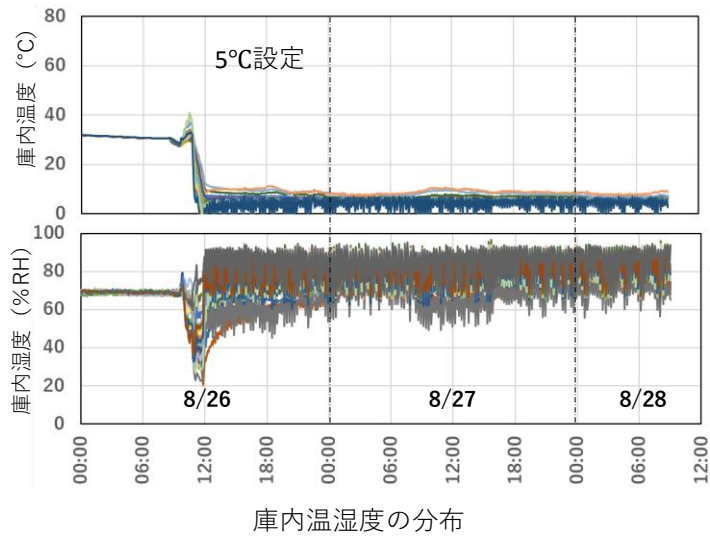
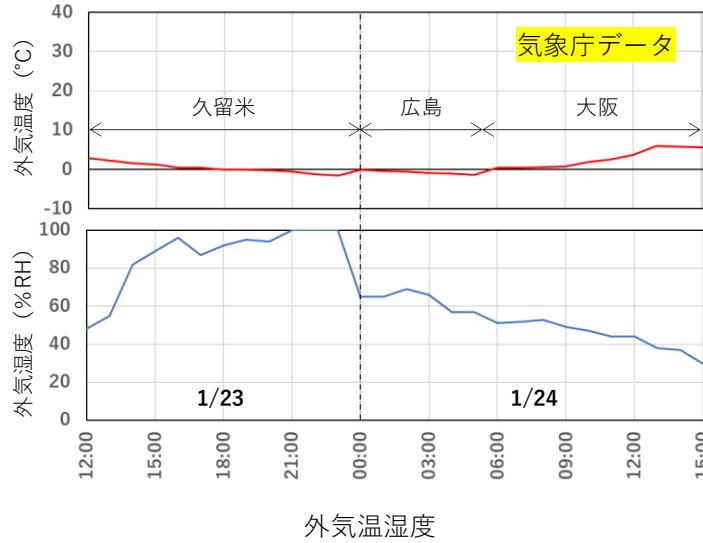
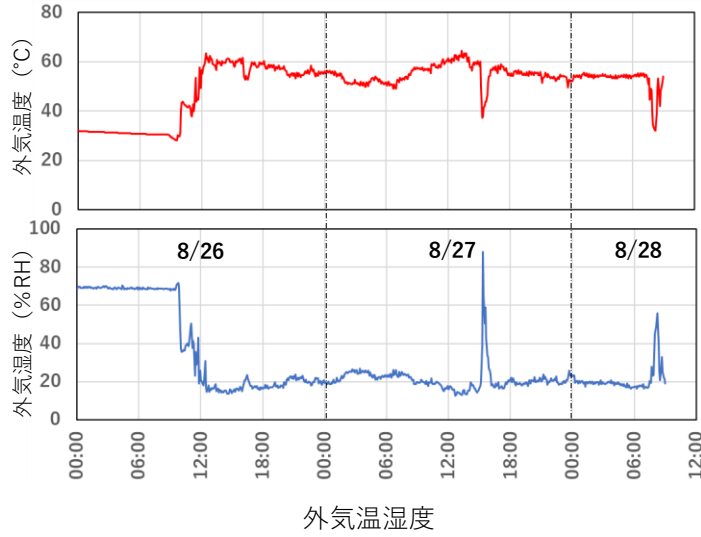
↑ センサ設置方法



## 2 JRコンテナ (夏季・冬季) ②

【夏季】

【冬季】



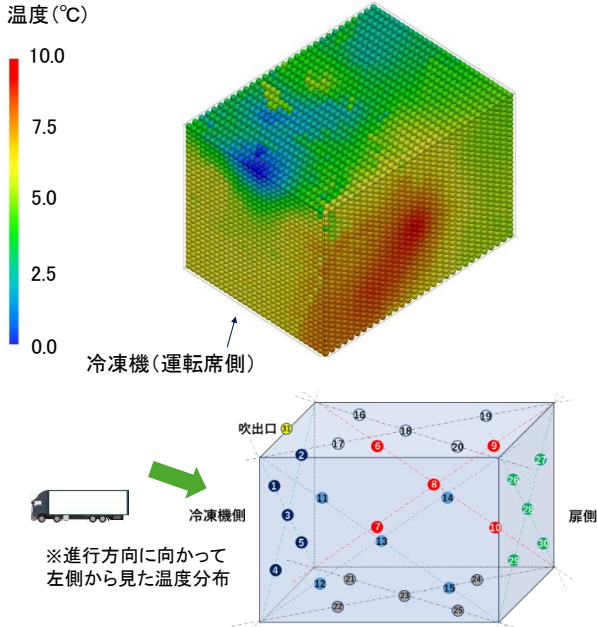
## 2 JRコンテナ③

【夏季】

【冬季】

### 庫内温度分布

※8/27 9:20 - 9:35 (動画)



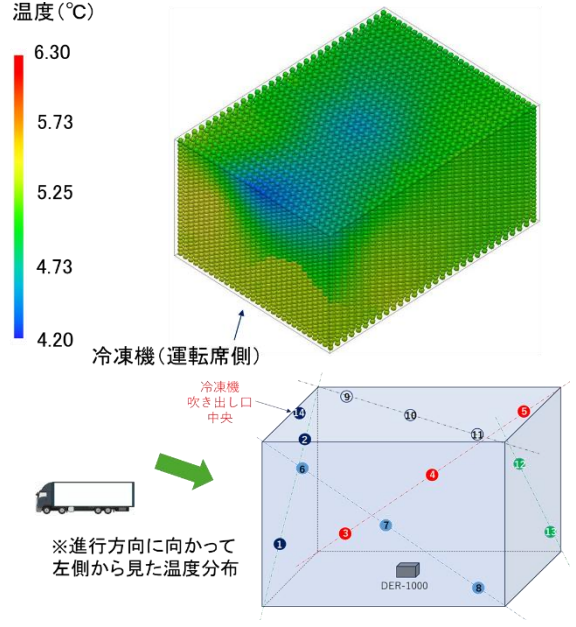
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/r4n2AfjVzhE>



### 庫内温度分布

※1/23 19:25 - 20:25 (動画)



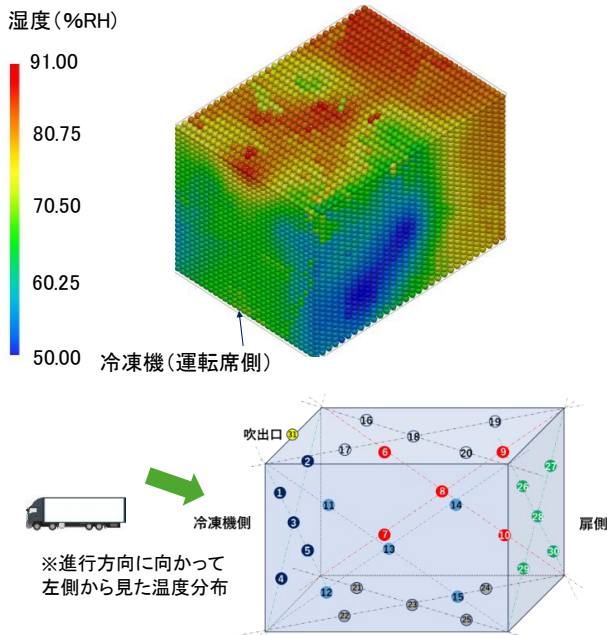
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/af3hX3ByTzA>



### 庫内湿度分布

※8/27 9:20 - 9:35 (動画)



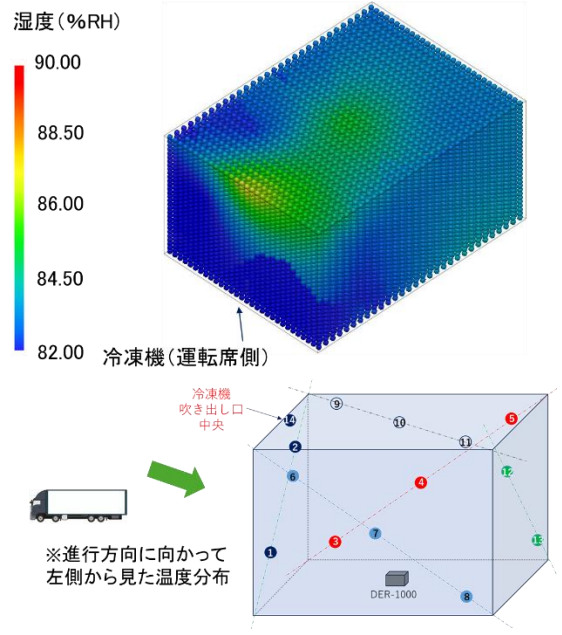
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/6fzDdvluAq8>



### 庫内湿度分布

※1/23 19:25 - 20:25 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

[https://youtu.be/\\_4jlpvUuOU](https://youtu.be/_4jlpvUuOU)

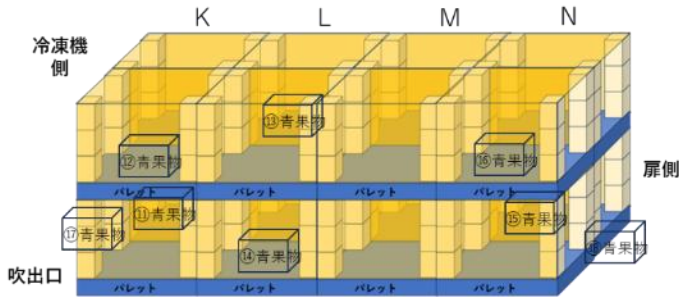


### 3 船舶輸送用コンテナ【蔵置試験】

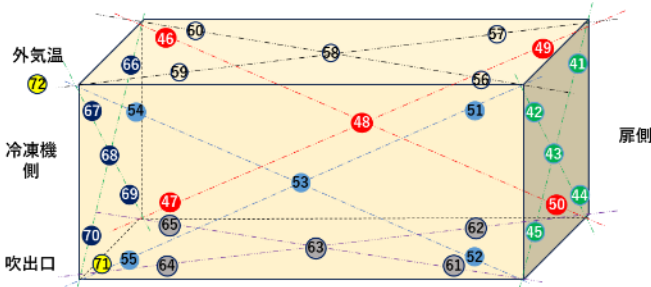
#### 1) 20フィートコンテナ (夏季・冬季) ①

##### 【夏季】

調査日 : R6.8.23~9.2  
 蔵置場所 : 福岡県久留米市



↑ 青果物積載位置



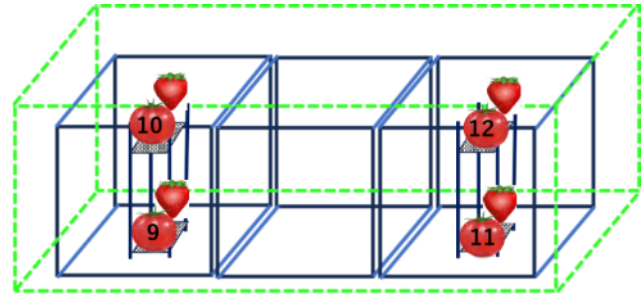
↑ センサ設置方法



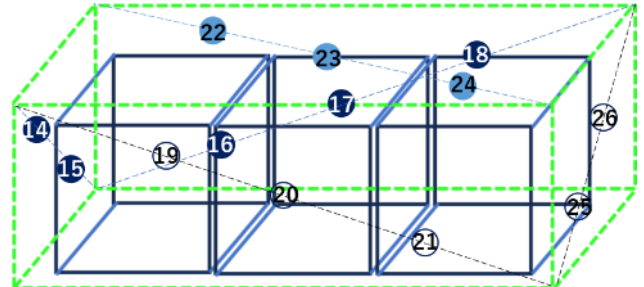
蔵置のため  
 振動加速度  
 データなし

##### 【冬季】

調査日 : R5.12.7~12.18  
 装置場所 : 博多港ヤード



↑ 青果物積載位置



↑ センサ設置方法

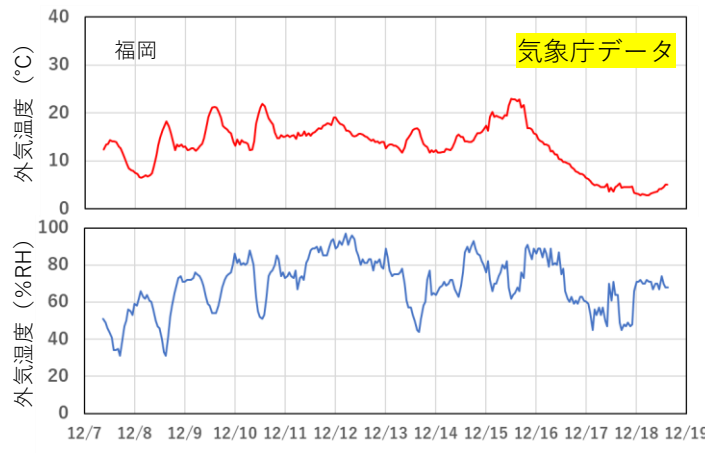
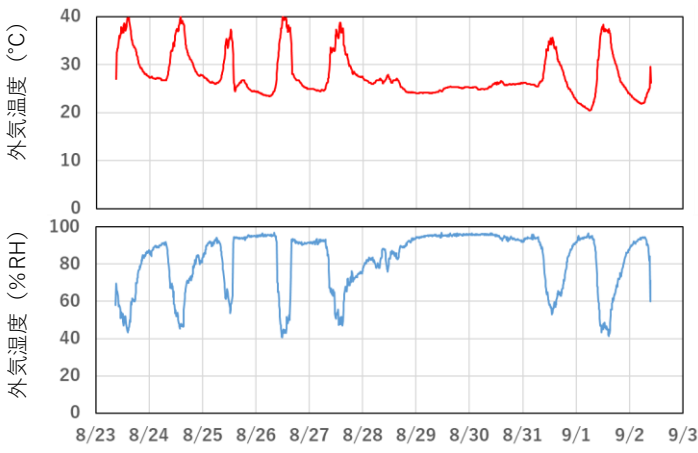


蔵置のため  
 振動加速度  
 データなし

# 1) 20フィートコンテナ (夏季・冬季) ②

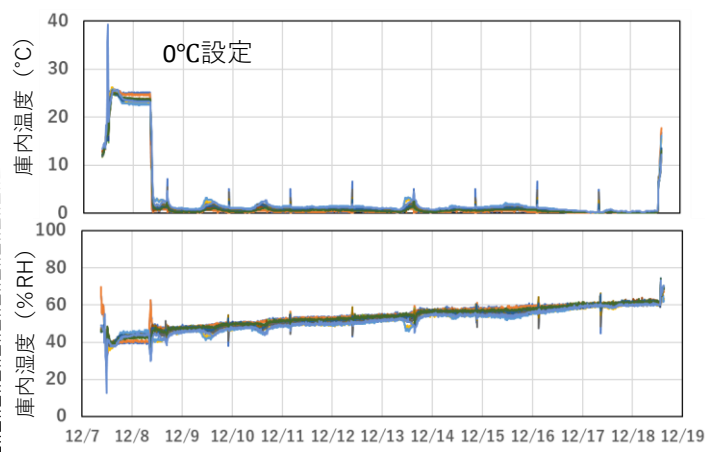
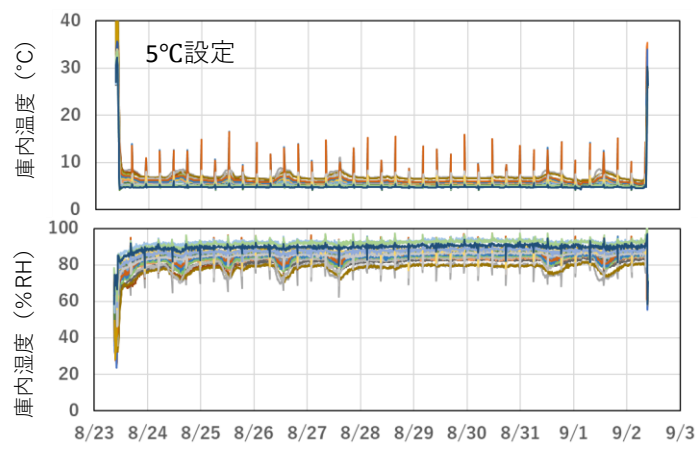
【夏季】

【冬季】



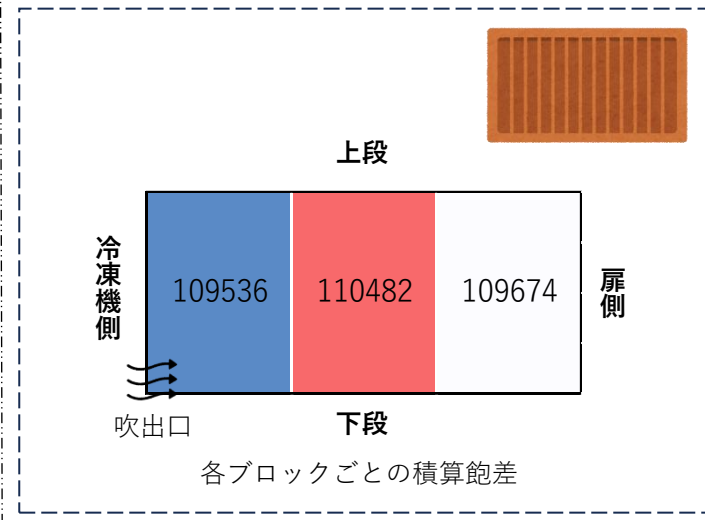
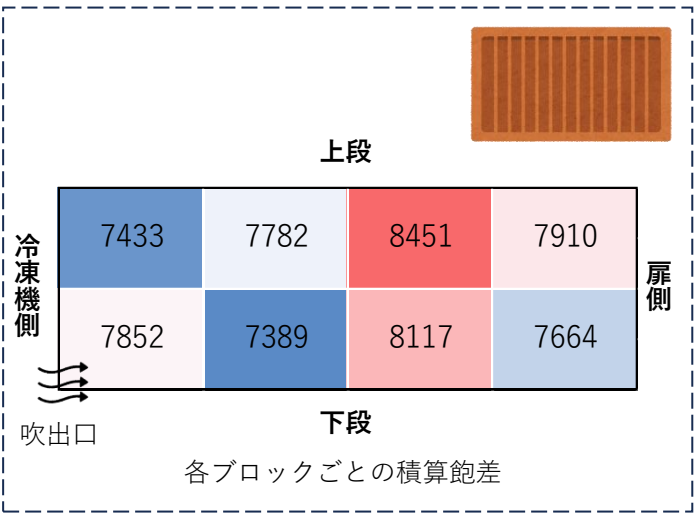
外気温湿度

外気温湿度



庫内温湿度の分布

庫内温湿度の分布



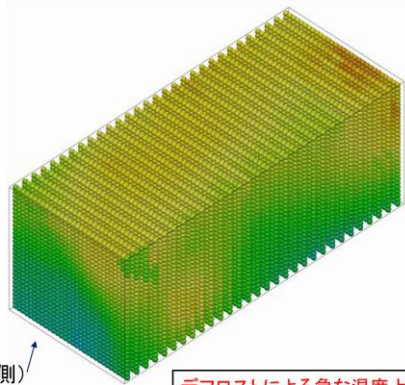
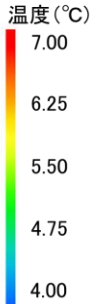
# 3 1) 船舶輸送用コンテナ (蔵置20ft) ③

【夏季】

【冬季】

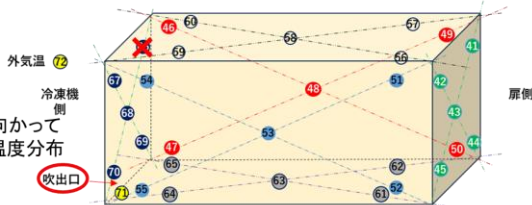
## 庫内温度分布

※8/28 15:40 - 8/29 3:50 (動画)



デフロストによる急な温度上昇あり

冷凍機 (運転席側)



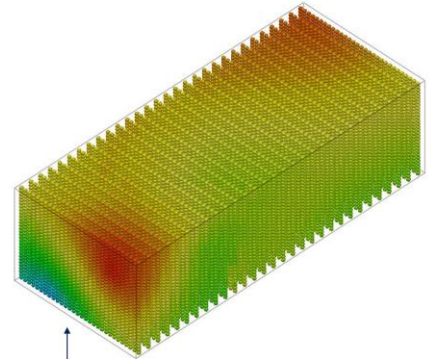
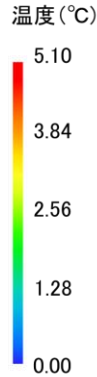
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/OKvytpMkYNw>

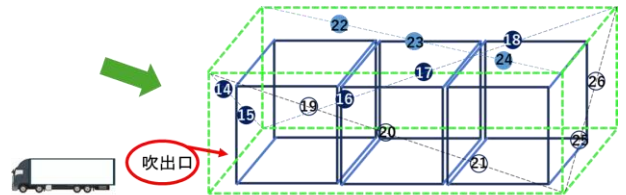


## 庫内温度分布

※12/13 15:20 - 12/14 21:10 (動画)



冷凍機 (運転席側)



※進行方向に向かって左側から見た温度分布

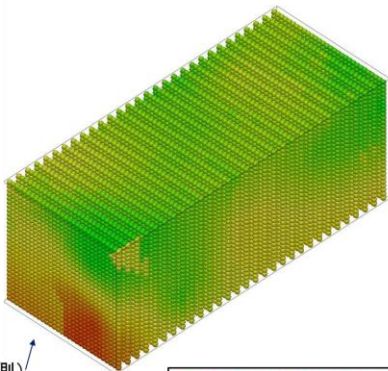
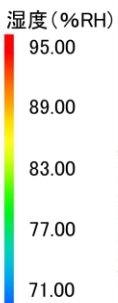
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/xD2vInjvBA>



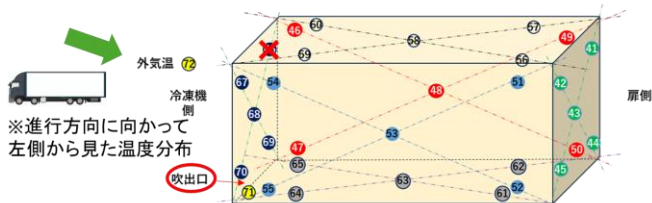
## 庫内湿度分布

※8/28 15:40 - 8/29 3:50 (動画)



デフロストによる急な温度上昇あり

冷凍機 (運転席側)



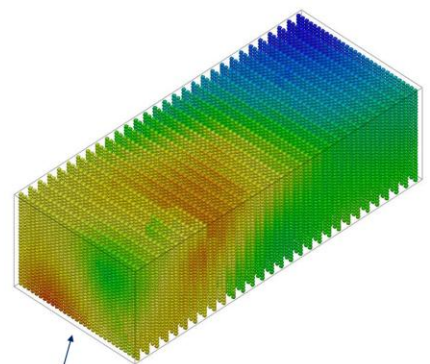
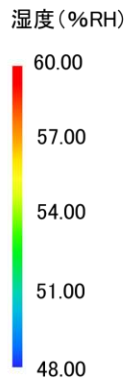
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/Nj5L18qlWkw>

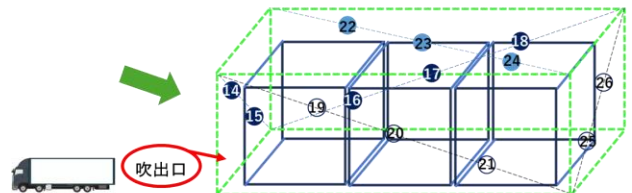


## 庫内湿度分布

※12/13 15:20 - 12/14 21:10 (動画)



冷凍機 (運転席側)



※進行方向に向かって左側から見た湿度分布

詳しい動画はこちらから↓

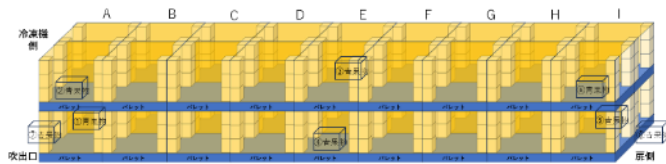
<https://youtu.be/CALeJjpCnTI>



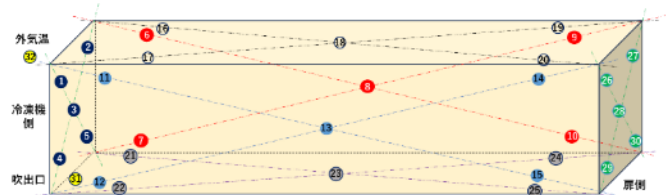
## 2) 40フィートコンテナ (夏季・冬季) ①

### 【夏季】

調査日 : R6.8.23~9.2  
 蔵置場所 : 福岡県久留米市



↑ 青果物積載位置



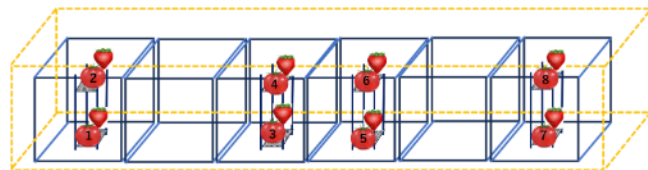
↑ センサ設置方法



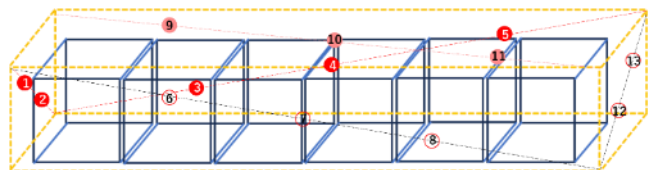
蔵置のため  
 振動加速度  
 データなし

### 【冬季】

調査日 : R5.12.7~12.18  
 装置場所 : 博多港ヤード



↑ 青果物積載位置



↑ センサ設置方法

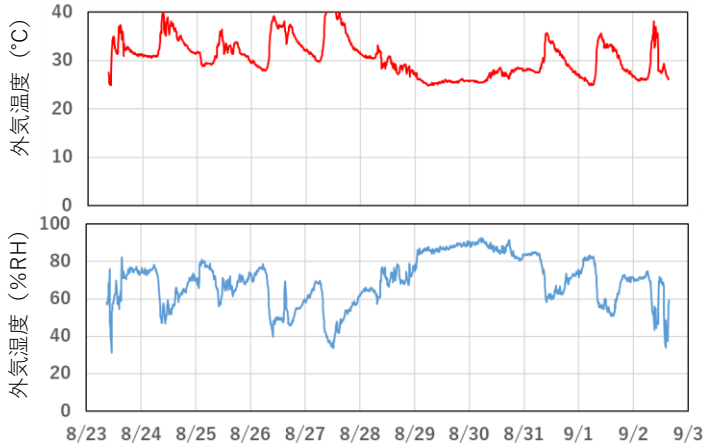


蔵置のため  
 振動加速度  
 データなし

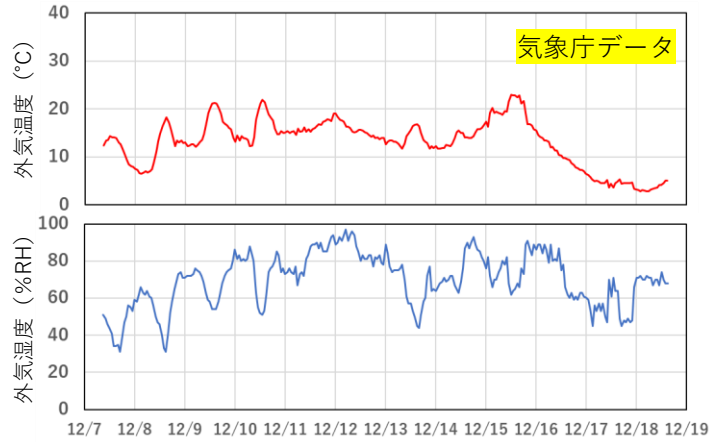
## 2) 40フィートコンテナ (夏季・冬季) ②

【夏季】

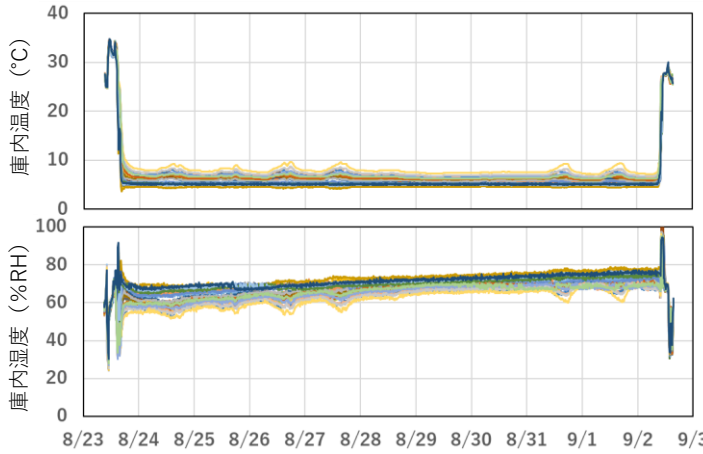
【冬季】



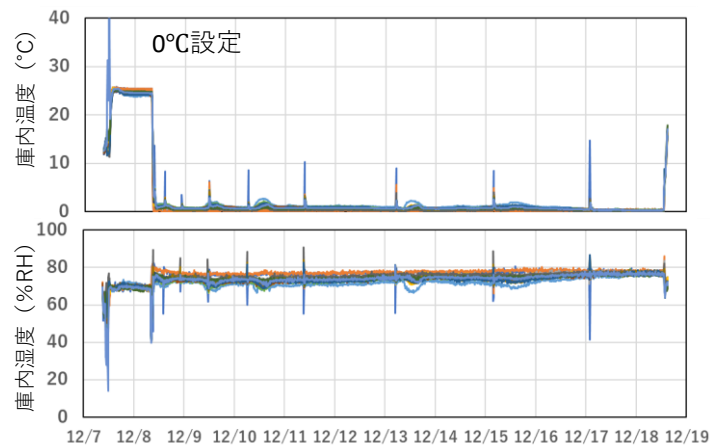
外気温湿度



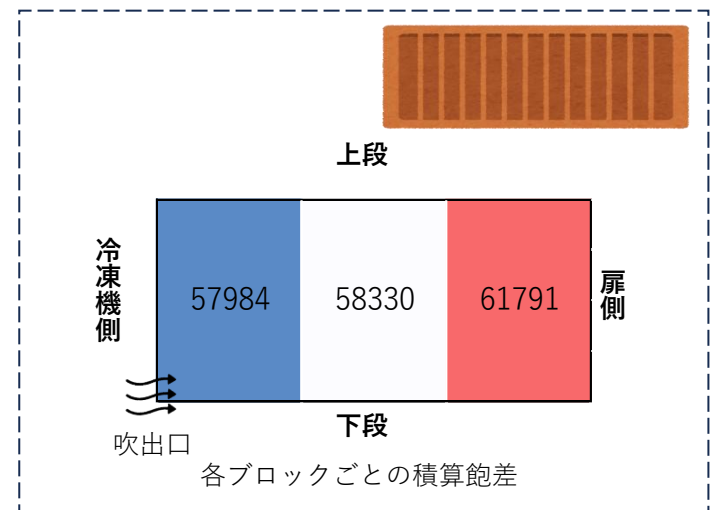
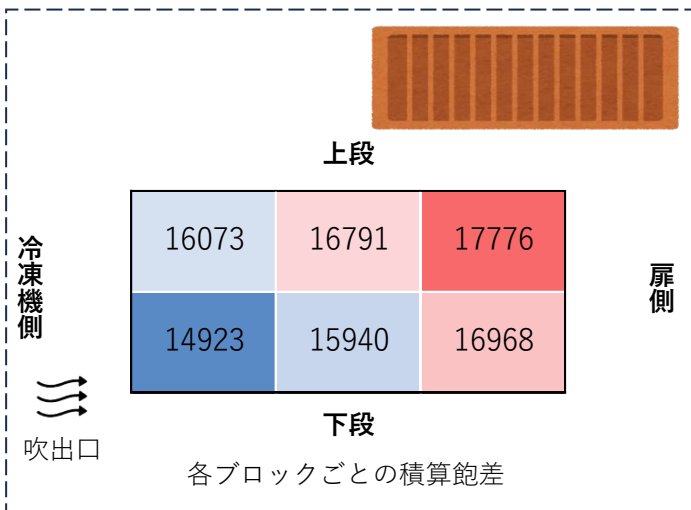
外気温湿度



庫内温湿度の分布



庫内温湿度の分布



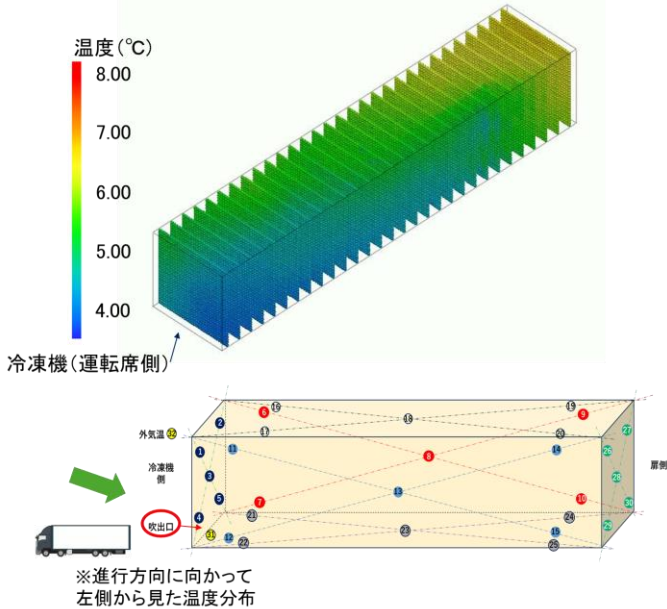
# 3 2) 船舶輸送用コンテナ (蔵置40ft) ③

**【夏季】**

**【冬季】**

## 庫内温度分布

※8/26 7:00 - 8/27 4:10 (動画)



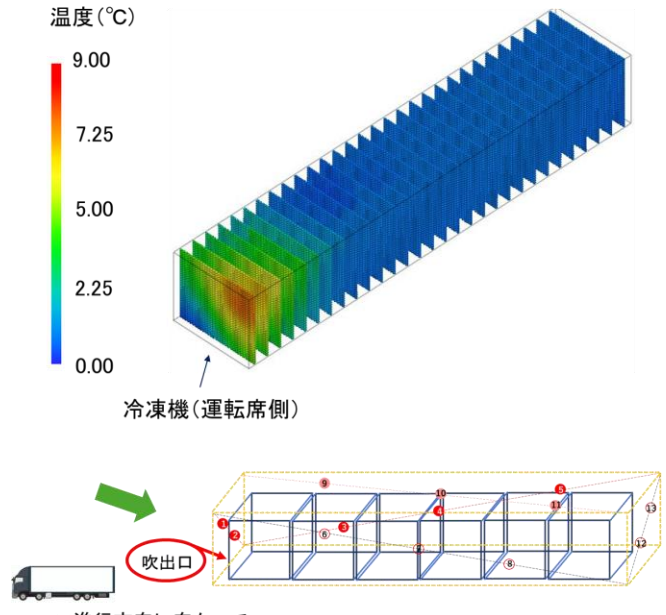
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/oLNZw57Pa0Y>



## 庫内温度分布

※12/13 5:00 - 12/15 3:40 (動画)



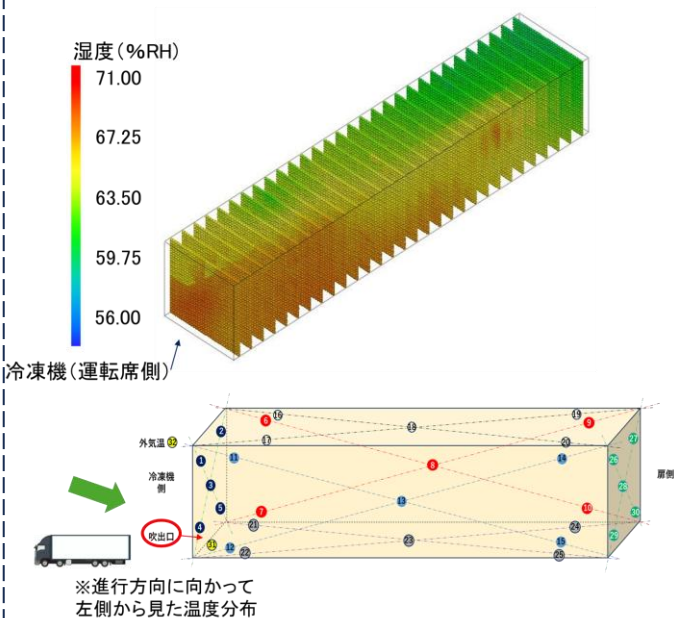
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/lo66bqKip5E>



## 庫内湿度分布

※8/26 7:00 - 8/27 4:10 (動画)



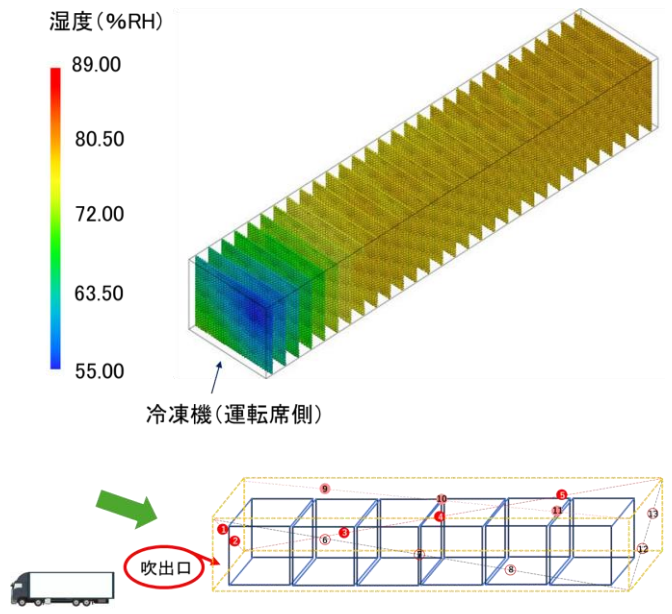
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/jLXEftDdxt8>



## 庫内湿度分布

※12/13 5:00 - 12/15 3:40 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/jLXEftDdxt8>

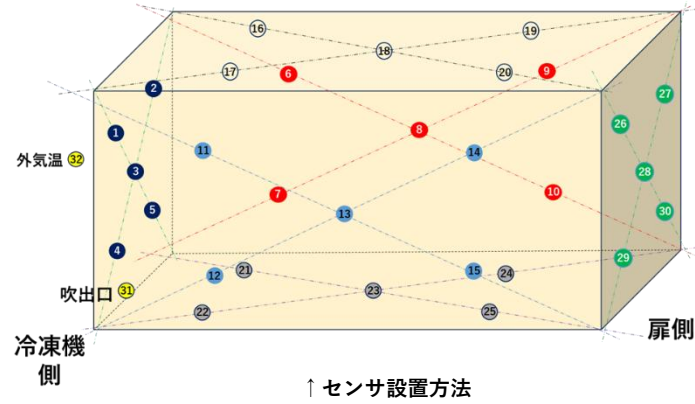
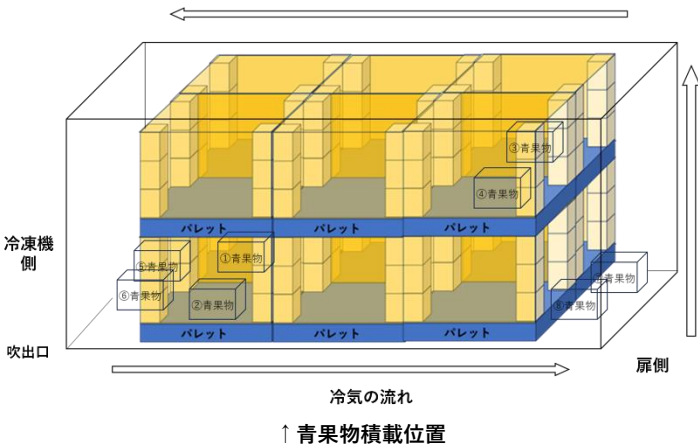


# 4 海外輸出試験【船便】20ft（冬季）シンガポール①

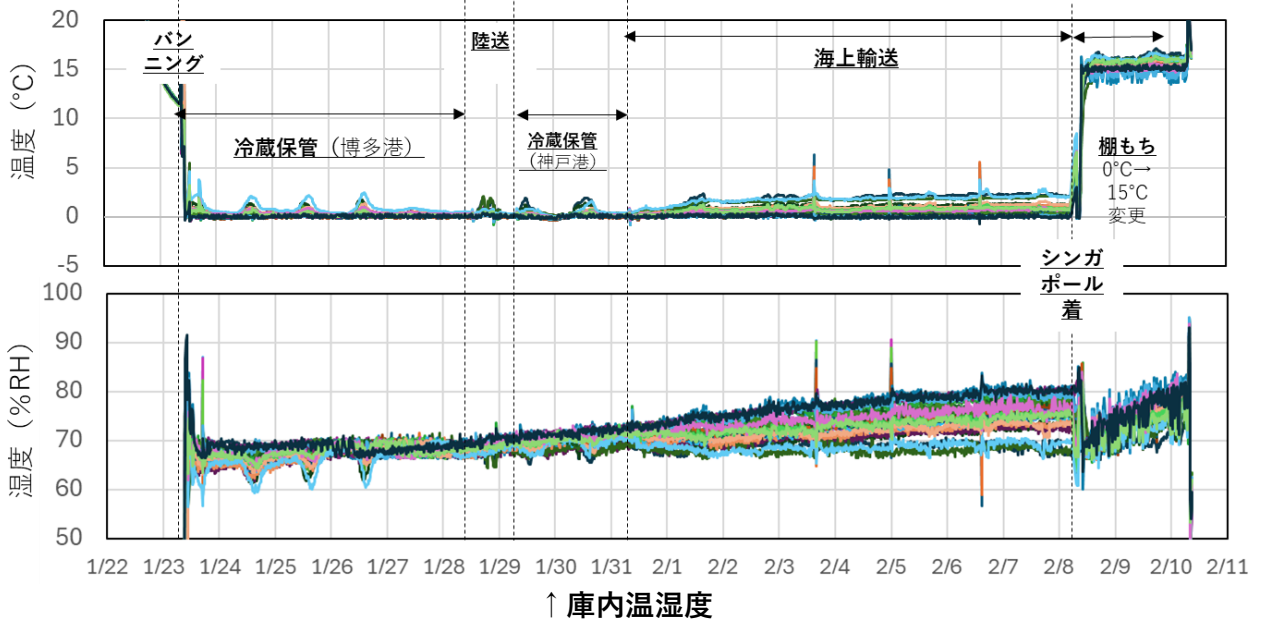
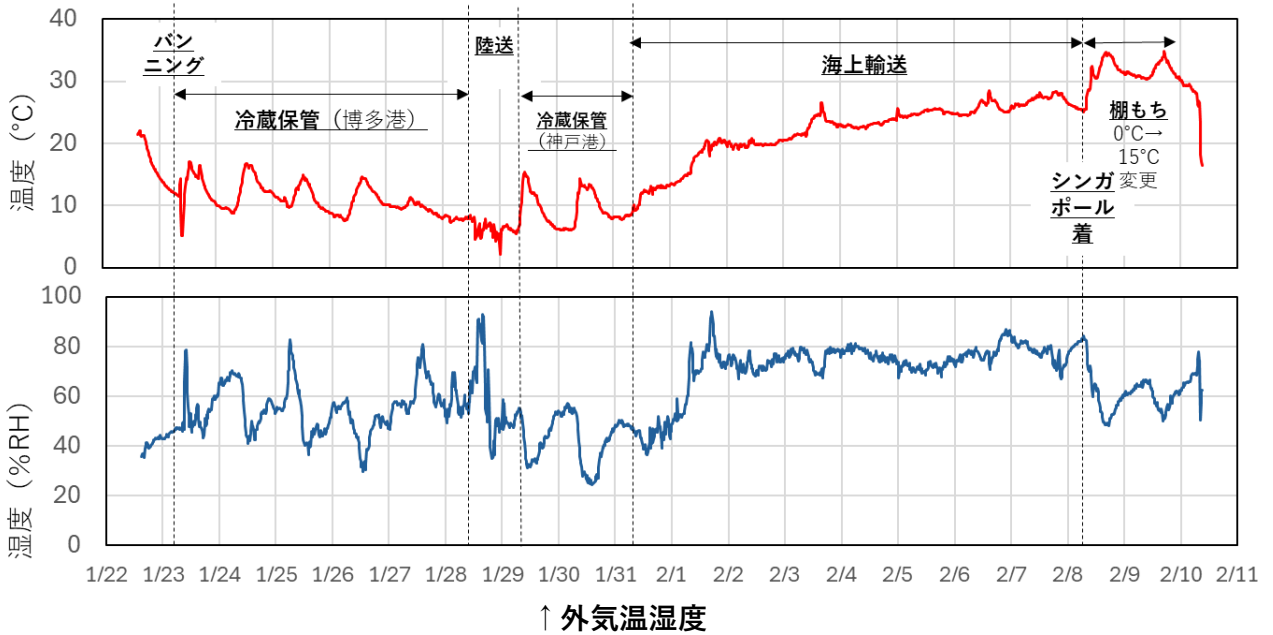
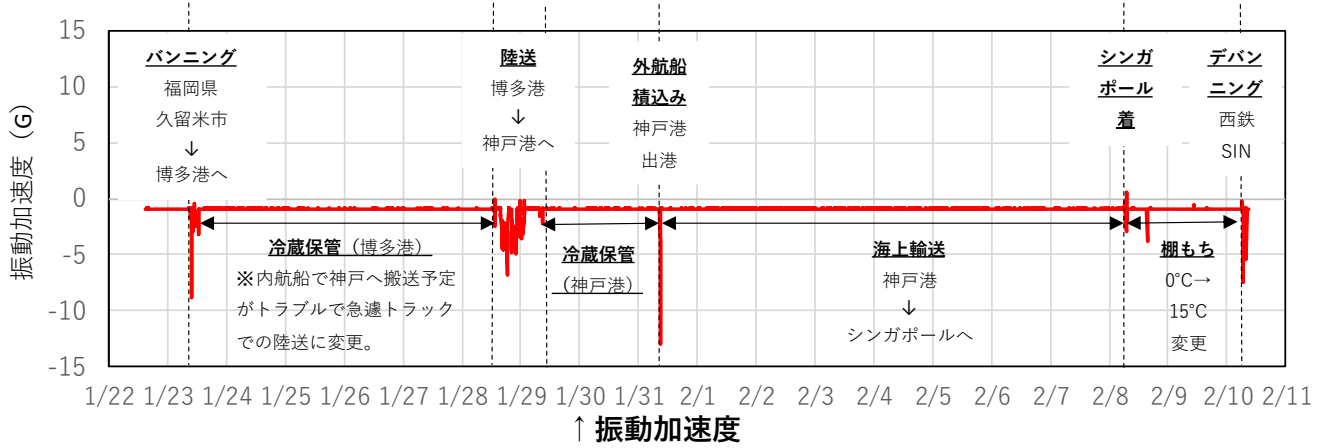
調査日 : R7.1.23~2.10

輸送区間 : 福岡⇒シンガポール

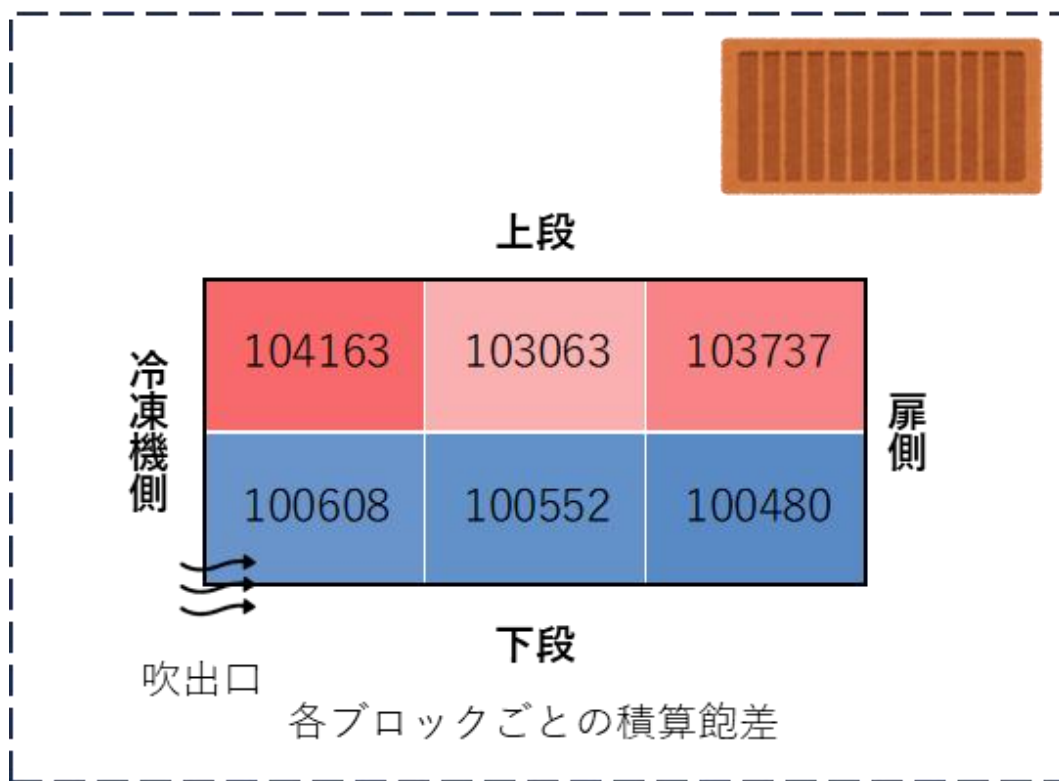
1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/11	2/12
水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水
青果物準備	パンニング（博多港へ）	通関申告	博多港出港	（内航船）	神戸港到着	（コンテナ積み替え）	神戸港出港	海上輸送 （外航船）						シンガポール着	西鉄シンガポール事務所にて保管					輸送環境および品質調査	
0°C設定														0°C設定		15°C設定 （棚もち）					



# 4 海外輸出試験【船便】20ft（冬季）シンガポール②



#### 4 海外輸出試験【船便】 20ft（冬季）シンガポール③

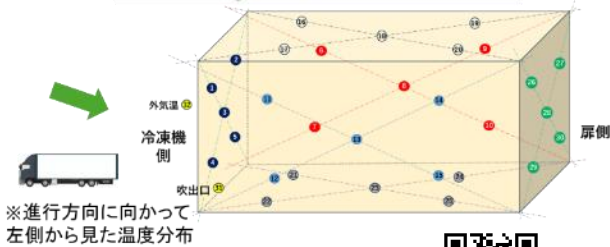
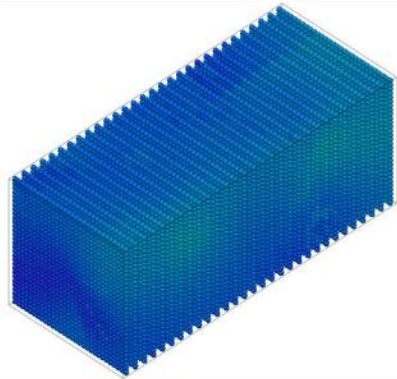
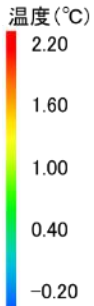


# 4 海外輸出試験【船便】20ft（冬季）シンガポール④

## 博多港

### 庫内温度分布

※1/25 0:00 - 1/25 23:00 (動画)



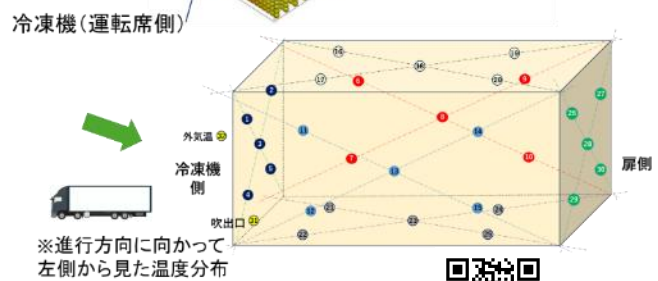
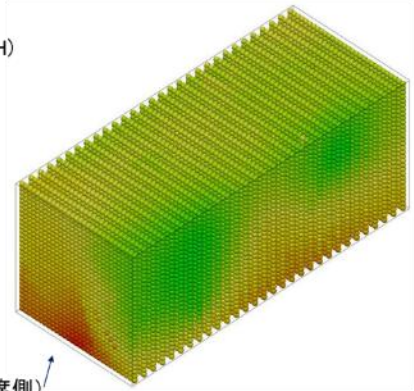
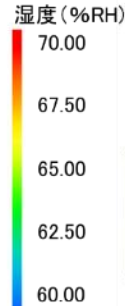
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/gAwFg78kz5M>



### 庫内湿度分布

※1/25 0:00 - 1/25 23:00 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

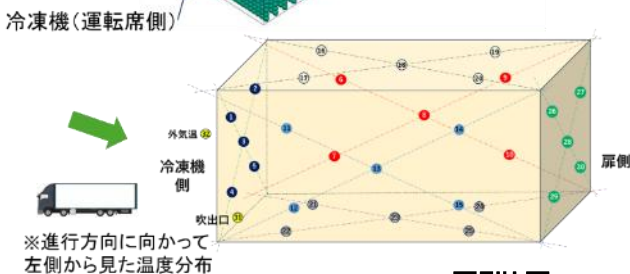
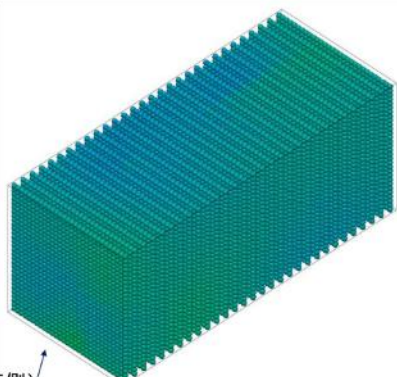
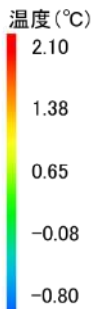
<https://youtu.be/Qd3imLuslwM>



## 陸送

### 庫内温度分布

※1/28 11:15 - 1/29 7:15 (動画)



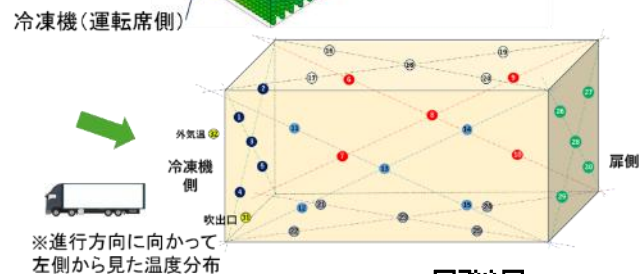
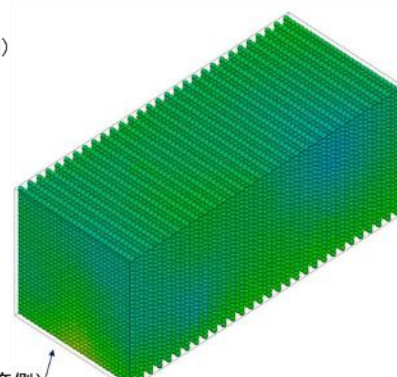
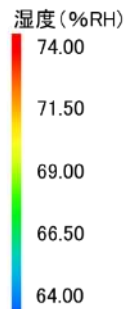
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/DCVIRyuU904>



### 庫内湿度分布

※1/28 11:15 - 1/29 7:15 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/fvJEsFy1ZGA>

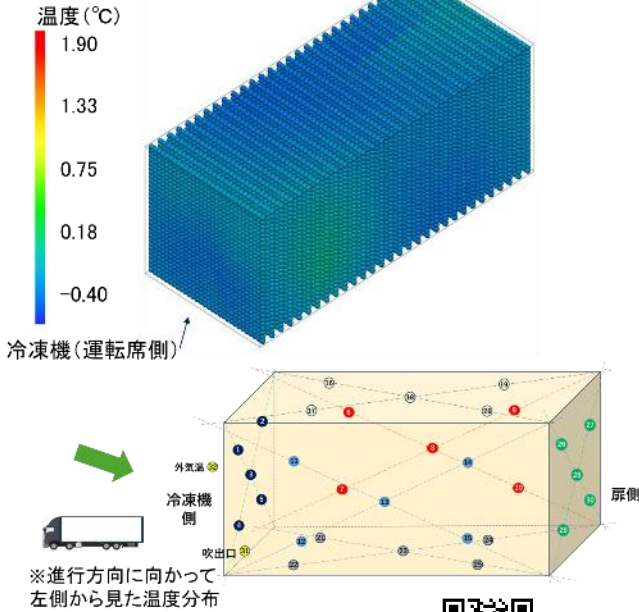


# 4 海外輸出試験【船便】20ft（冬季）シンガポール⑤

## 神戸港

### 庫内温度分布

※1/30 0:00 - 1/30 23:00 (動画)



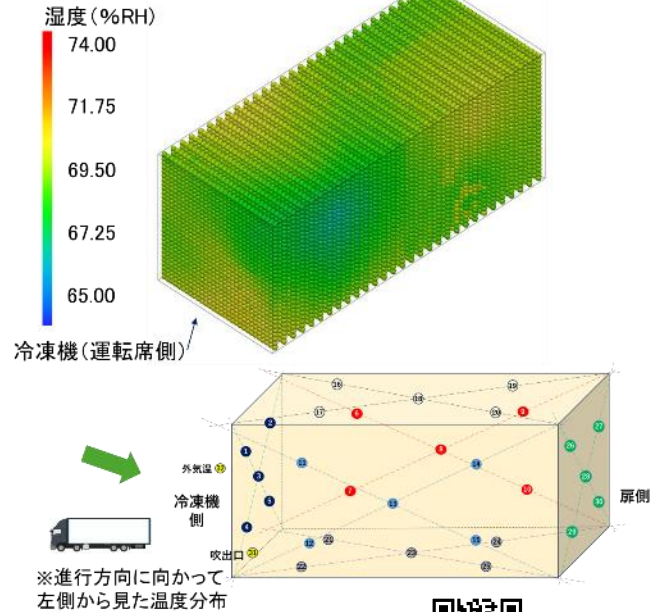
詳しい動画はこちらから↓

[https://youtu.be/jKBq\\_WxVwxA](https://youtu.be/jKBq_WxVwxA)



### 庫内湿度分布

※1/30 0:00 - 1/30 23:00 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

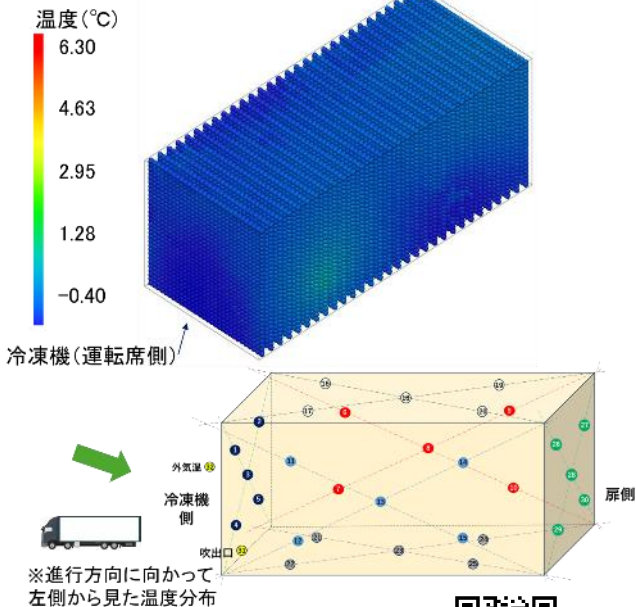
<https://youtu.be/mcW4BovEE1M>



## 海上輸送

### 庫内温度分布

※2/3 0:00 - 2/3 23:00 (動画)



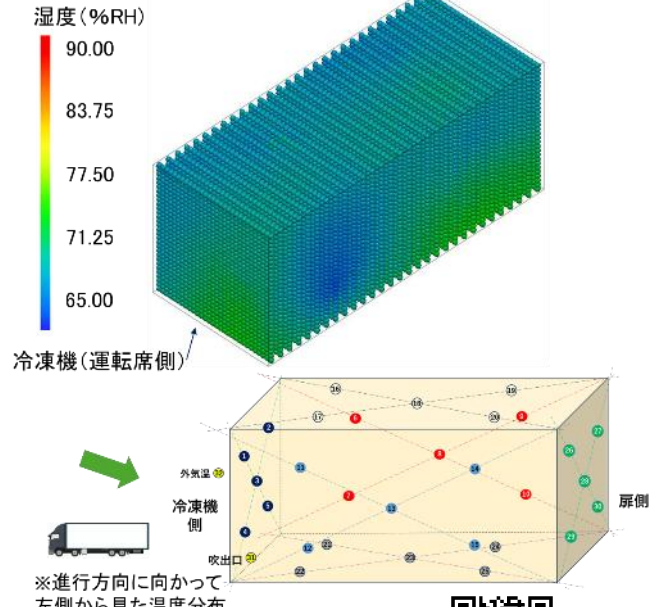
詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/DIPgoHp7aXA>



### 庫内湿度分布

※2/3 0:00 - 2/3 23:00 (動画)



詳しい動画はこちらから↓

<https://youtu.be/92G9RXcrNfw>

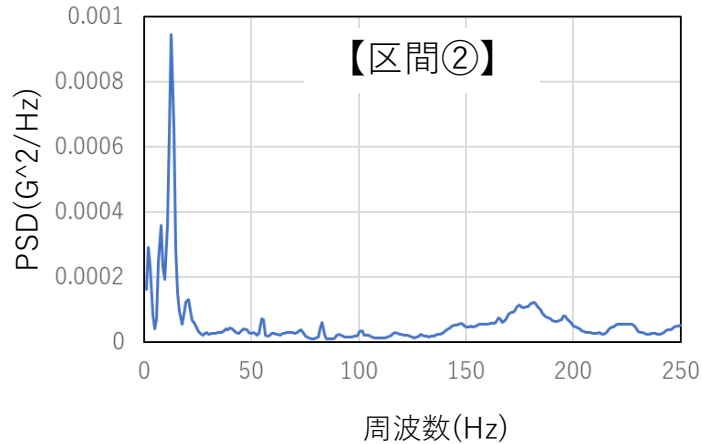
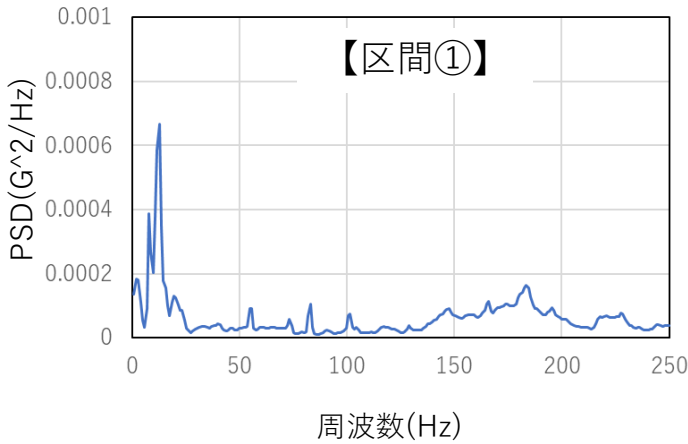


# 5 PSD (パワースペクトル密度)

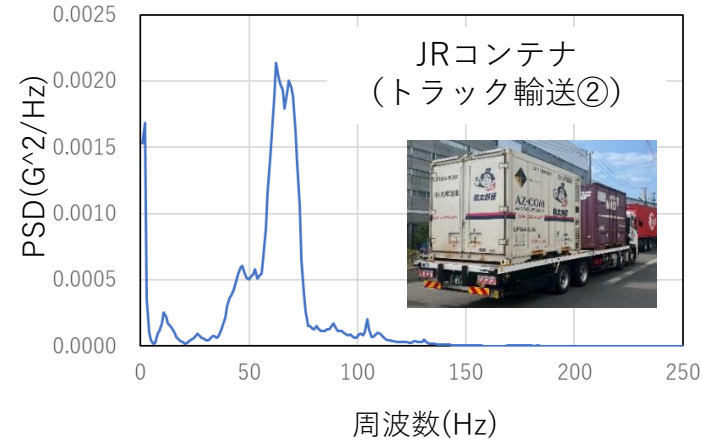
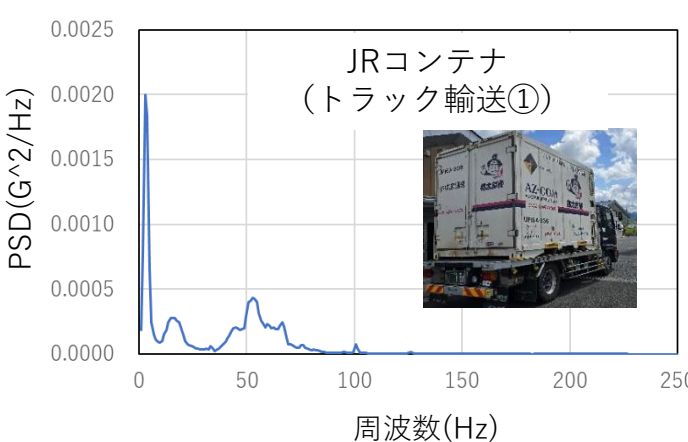
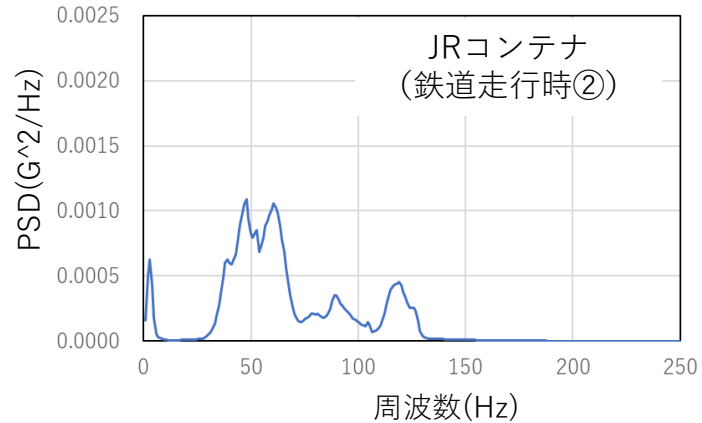
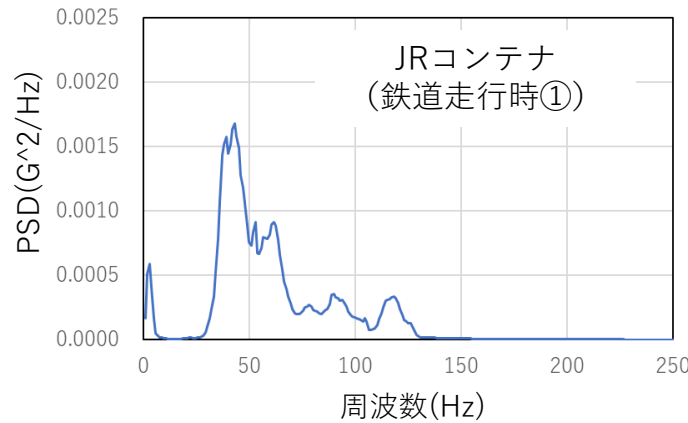
※PSD(Power Spectral Density)は周波数ごとのパワー分布を示すもので、振動によってどの周波数帯が影響が大きいかが判断することができる。



## ①トラック輸送におけるPSD (夏期：福岡ー大阪間)



## ②JRコンテナにおけるPSD (夏期：熊本ー千葉間)



### III 質量減量係数による品質予測

# 積算飽差

## 質量減量係数による品質予測

- ・ 温湿度から求められる「飽差」に貯蔵期時間をかけて求められる値
- ・ 値が大きいほど青果物にとって蒸散をしやすい環境

$$P_s(T_d) = P_c \exp\left(\frac{Ax + Bx^2 + Cx^3 + Dx^6}{1 - x}\right) \quad \left(\because x = 1 - \frac{T_d}{T_c}\right)$$

$$RH = \frac{P_w}{P_s} \times 100$$

$$\Delta P = P_s - P_w$$

# 質量減量係数

- ・ 青果物固有の値であり、蒸散のしやすさを表す値
- ・ 値が大きいほど蒸散をしやすい品目であるため、品質が劣化しやすい

$$\frac{dm}{dt} = k\Delta P$$

減量  
しやすい

品目	包装形態	質量減量係数(k値)	想定重量(g)	減量率係数(10 <sup>-3</sup> )
コマツナ	袋無	0.60	211	2.85
ナス	袋無	0.22	113	1.94
アスパラ	袋無	0.18	106	1.69
きゅうり	袋無	0.14	112	1.29
枝豆	袋無	0.00	4	1.15
あまおう	レギュラー	0.02	23	1.01
メロン		0.78	1432	0.54
ミカン		0.07	155	0.48
ゆうべに		0.01	26	0.45
サツマイモ		0.06	182	0.35
不知火		0.10	285	0.34
カキ	袋無	0.06	262	0.23
枝豆	袋有	0.00	4	0.23
コマツナ	袋有	0.04	214	0.20
あまおう	ゆりかご	0.00	23	0.17
トマト		0.03	167	0.17
デラウェア		0.03	267	0.11
きゅうり	袋有	0.01	112	0.09
ナス	袋有	0.01	138	0.07
コマツナ	テープ止め	0.01	214	0.02
アスパラ	袋有	0.00	106	0.01
カキ	袋有	0.00	262	-0.01

例) コマツナ  
フィルムに入れる  
ことで低下

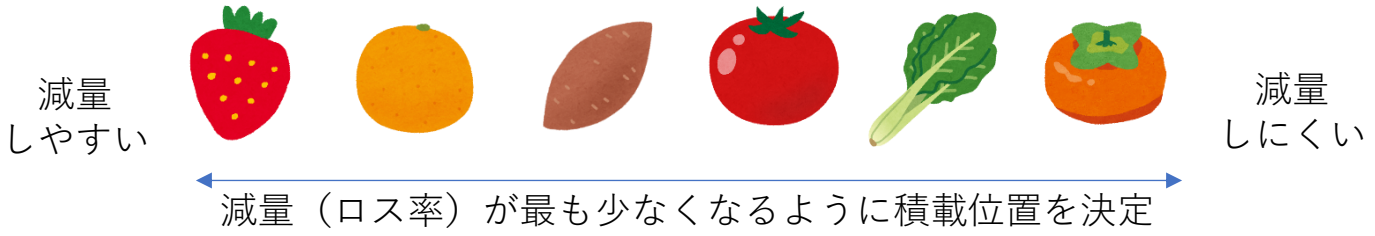
例) イチゴ  
包装形態の違いで  
値が異なる

例) コマツナ  
テープ留めをする  
ことでさらに低下

減量  
しにくい

「積算飽差」 × 「質量減量係数」 = 減量（品質）を予測

# 積算飽差および減量係数による 品質予測モデルシミュレーション



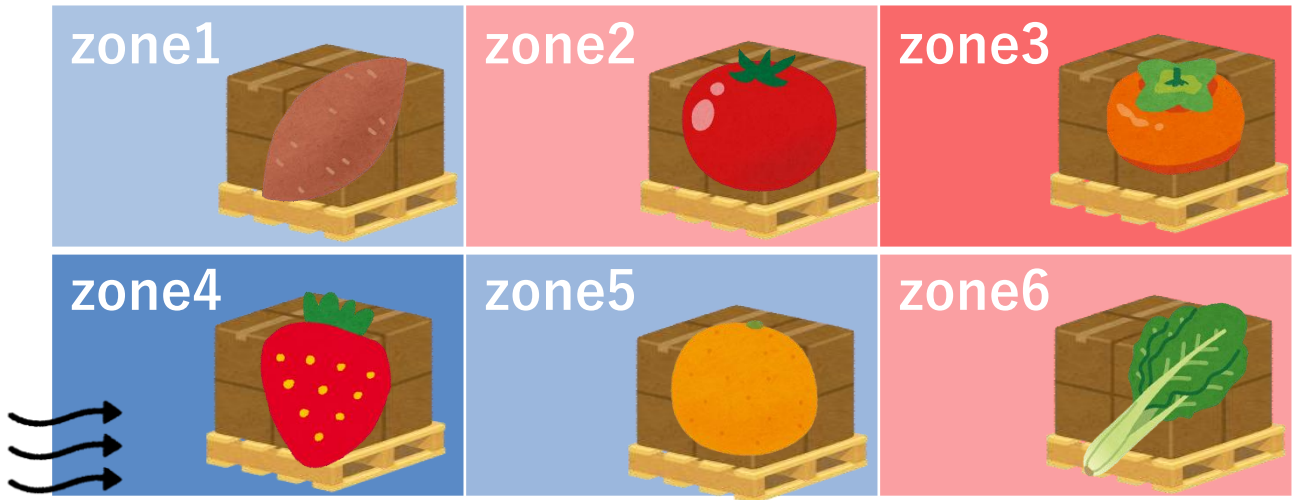
悪い積載方法

品目	減量係数 $10^{-3}$	積載位置	積算飽差	減量 $10^{-2}$	合計
イチゴ	1.01	扉上側	17776	18.0	36.1
ミカン	0.48	扉下側	16968	8.1	
サツマイモ	0.35	中上側	16791	5.9	
トマト	0.17	冷凍機上側	16073	2.7	
コマツナ	0.08	中下側	15940	1.3	
カキ	0.01	冷凍機下側	14923	0.1	

良い積載方法

品目	減量係数 $10^{-3}$	積載位置	積算飽差	減量 $10^{-2}$	合計
イチゴ	1.01	扉上側	17776	15.1	32.7
ミカン	0.48	扉下側	16968	7.7	
サツマイモ	0.35	中上側	16791	5.6	
トマト	0.17	冷凍機上側	16073	2.9	
コマツナ	0.08	中下側	15940	1.4	
カキ	0.01	冷凍機下側	14923	0.2	

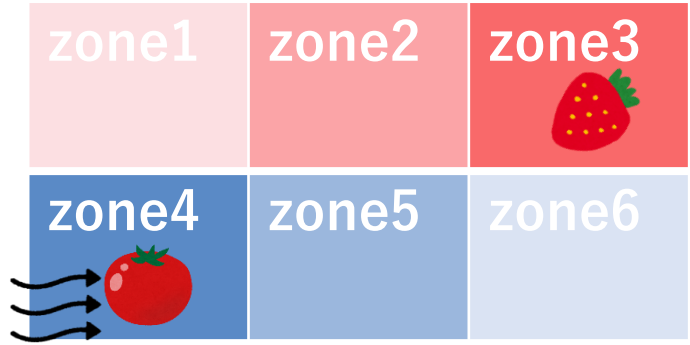
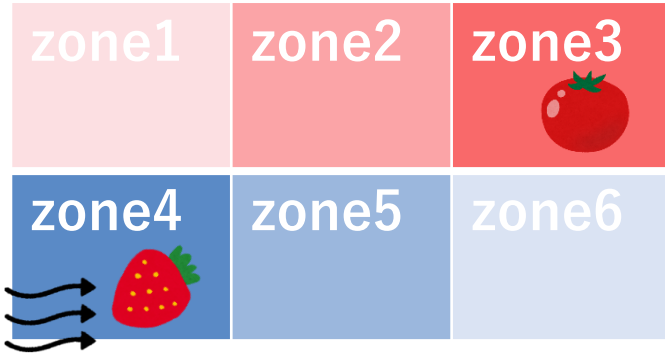
最適な積載方法を指示



# シンガポール試験（トマトとイチゴでの実証結果）

積載方法A (○)

積載方法B (×)



減量率5%で商品価値を失うと仮定すると・・・

シンガポール（輸送期間20日）輸送での積載方法の違いによる減量率と商品性

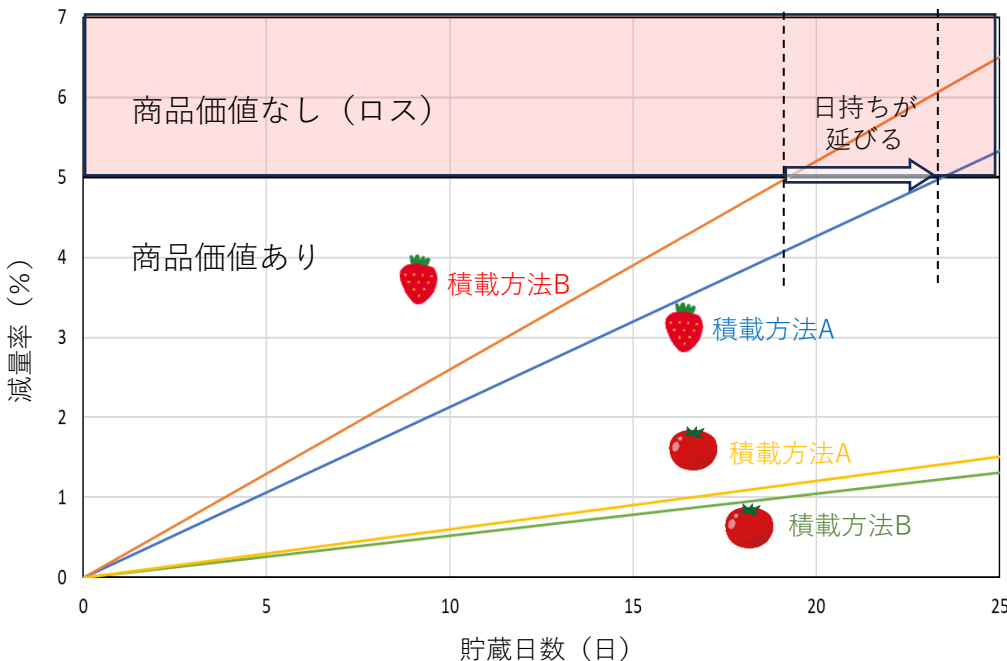
積載方法	品目	減量率 (%)	商品性の有無
積載方法A (○)	イチゴ	4.27	○商品性あり
	トマト	1.21	○商品性あり
積載方法B (×)	イチゴ	5.21	×商品性なし
	トマト	1.05	○商品性あり

積載方法AはBと比較して

- イチゴ: 減量率が小さくなり日持ち性が延びる
- トマト: 減量率は大きくなるが、商品価値を失うほどの影響はない。



**積載方法Aで輸送した方がロス率は低くなる。**



イチゴ: 積載方法による影響が大きい (ロスになりやすい)

トマト: 積載方法による影響が小さい (ロスになりにくい)