

完全人工光型植物工場を対象とした 空調方式に関する研究

指導教員

横田季巳江
赤林伸一教授



図 完全人工光型植物工場の内部

高品質・高機能な植物を
高密度で生産



植物工場が注目されている

- ・ 太陽光併用型
- ・ 完全人工光型

太陽光を利用せず、人工照明を
使用し閉鎖環境下で植物を
栽培する為

- 気象条件*に左右されない
* 放射能や塩害の影響も受けない
- 無農薬・無菌栽培が可能



照明による室内発熱が
空調負荷(冷房)の大部分を占める



課題

- 栽培に適した温熱空気環境の形成
- 空調用エネルギーの削減

図 栽培棚の人工照明

市販のコンテナ型植物工場*¹を対象とし、数値流体解析(CFD解析)を用いて空調機の**吹出口と吸込口**の**位置・風量・吹出温度**等を変化させて室内温度分布の解析を行う

* 1 E社製コンテナ型植物工場

効率的で均一な温熱環境の制御が可能な空調方式の検討を行う



図 E社製コンテナ型植物工場外観

南魚沼市に新たに建設された植物工場を対象に
温熱環境実測を行う



実在植物工場内の空調機の運転状況及び明期・暗期*²に
おける室内温熱環境を把握する

* 2 明期：植物に光を照射する時間(照明点灯時)，暗期：植物に光を照射しない時間(照明消灯時)



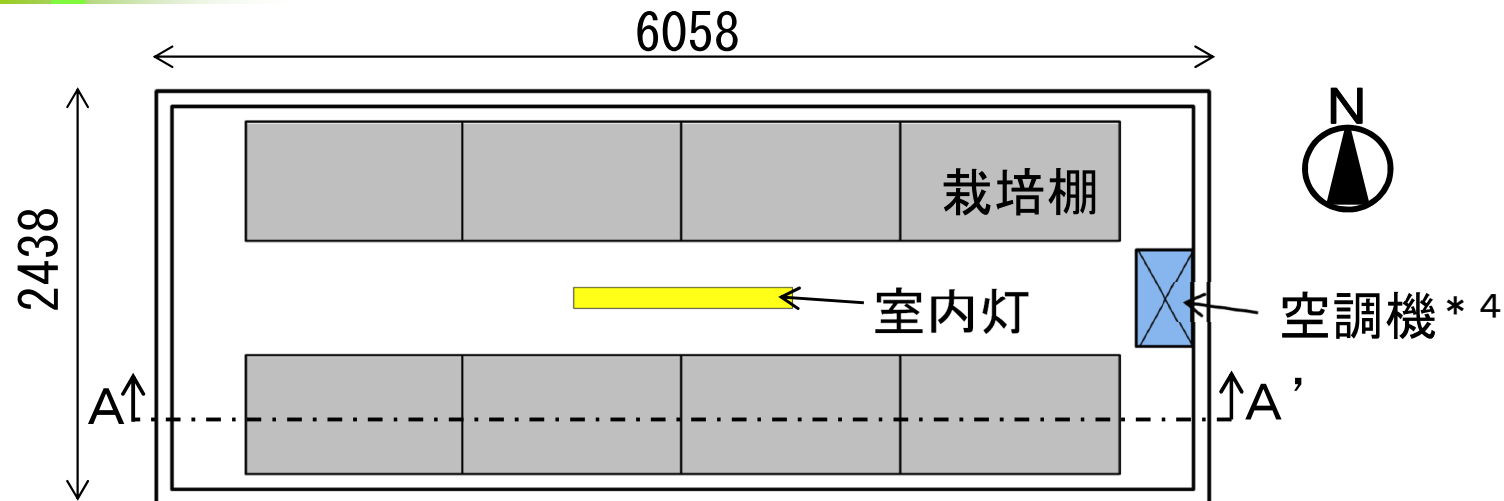
外観



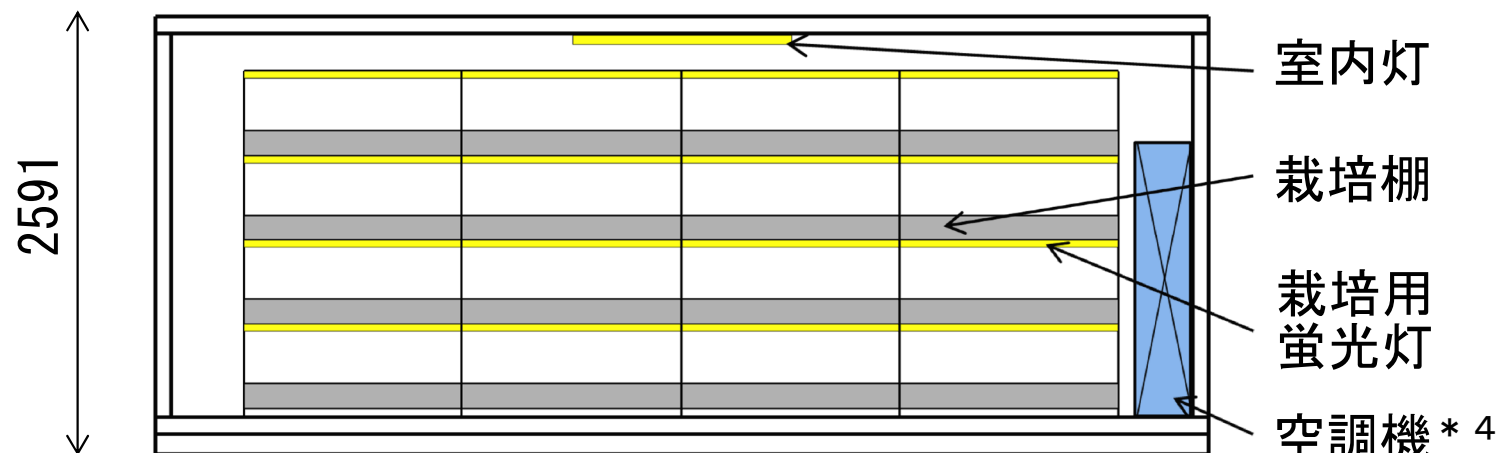
栽培棚

図 南魚沼市の実在植物工場

研究概要 - コンテナ型植物工場



(a) 平面図



(b) A - A' 断面図

単位 [mm]

図1 コンテナ型植物工場モデル*3

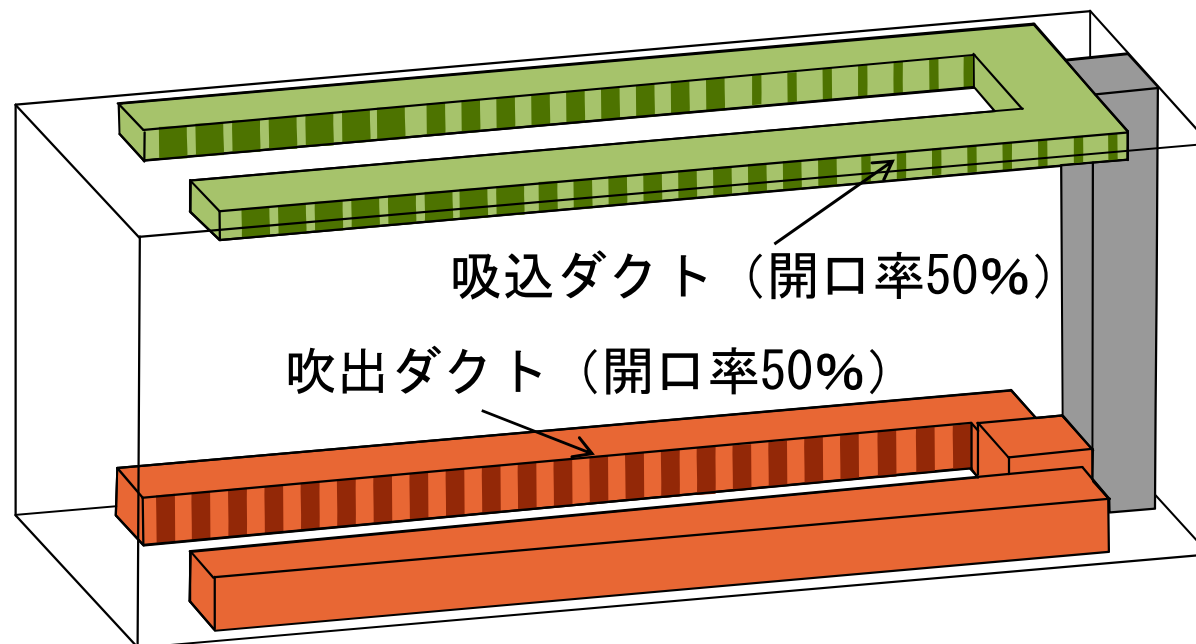
- *3 本研究の解析モデルでは植物と液肥は省略する
- *4 ダイキン製ハウス栽培専用ヒートポンプエアコン(品番: SFYP140A)
吸込口 (H635mm×W500mm)、吹出口 (H300mm×W500mm)

表1 コンテナ型
植物工場の解析条件

		case1	case2
外気条件	外気温 [°C]	35	
空調機条件	設定室温 [°C]	20	
	吹出温度 [°C]	13.7	16.3
	吹出風量 [m³/h]	1980	3960
室内発熱負荷	栽培用蛍光灯 [W]	4096	
	室内灯 [W]	80	
	計 [W]	4176	
外壁条件	熱貫流率 [W/m²・K]	0.586	
	貫流熱量 [W]	807	
空調負荷合計 [W]		4903	



(a) case1



(b) case2

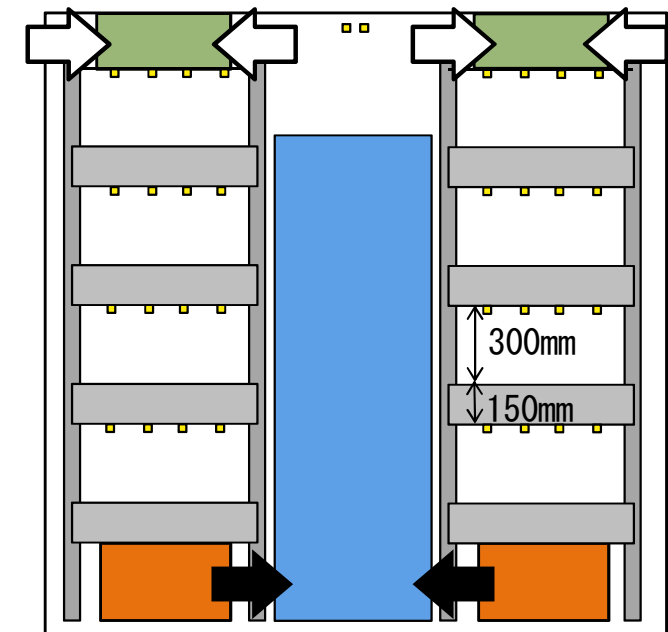
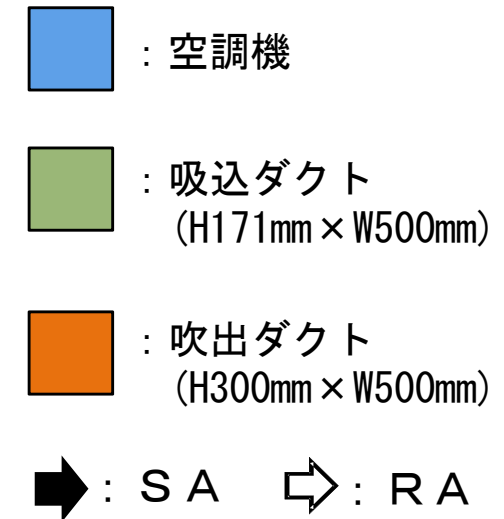


図2 空調機の吹出口と吸込口の概要

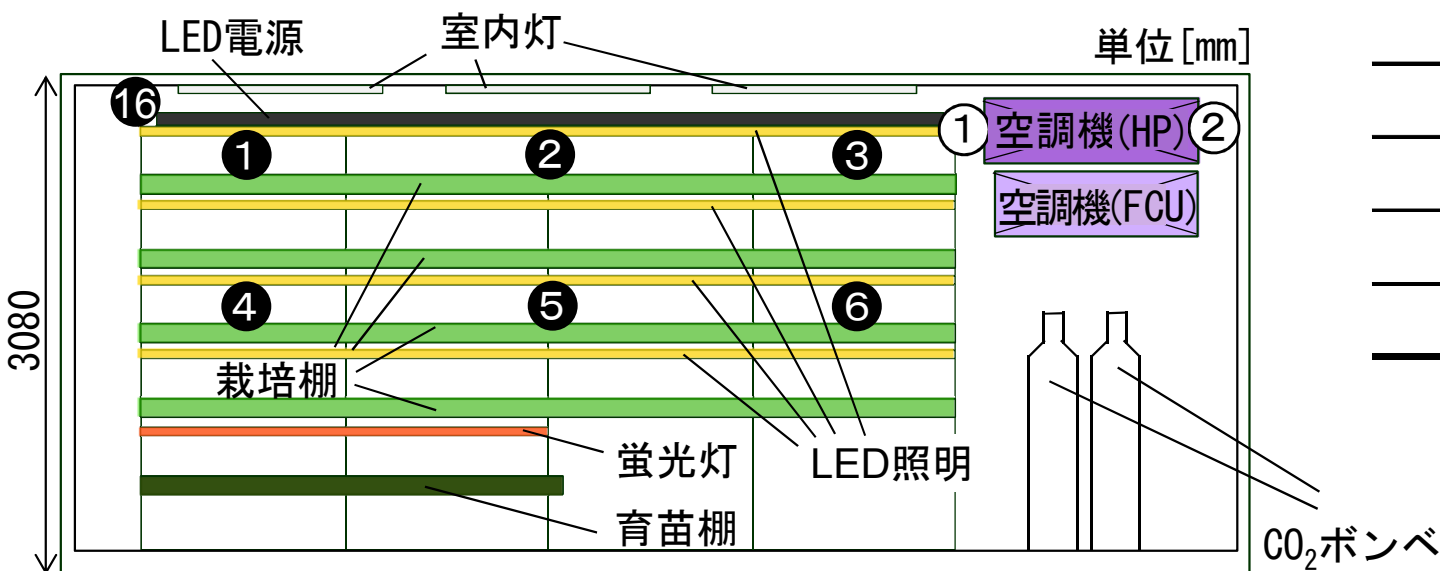
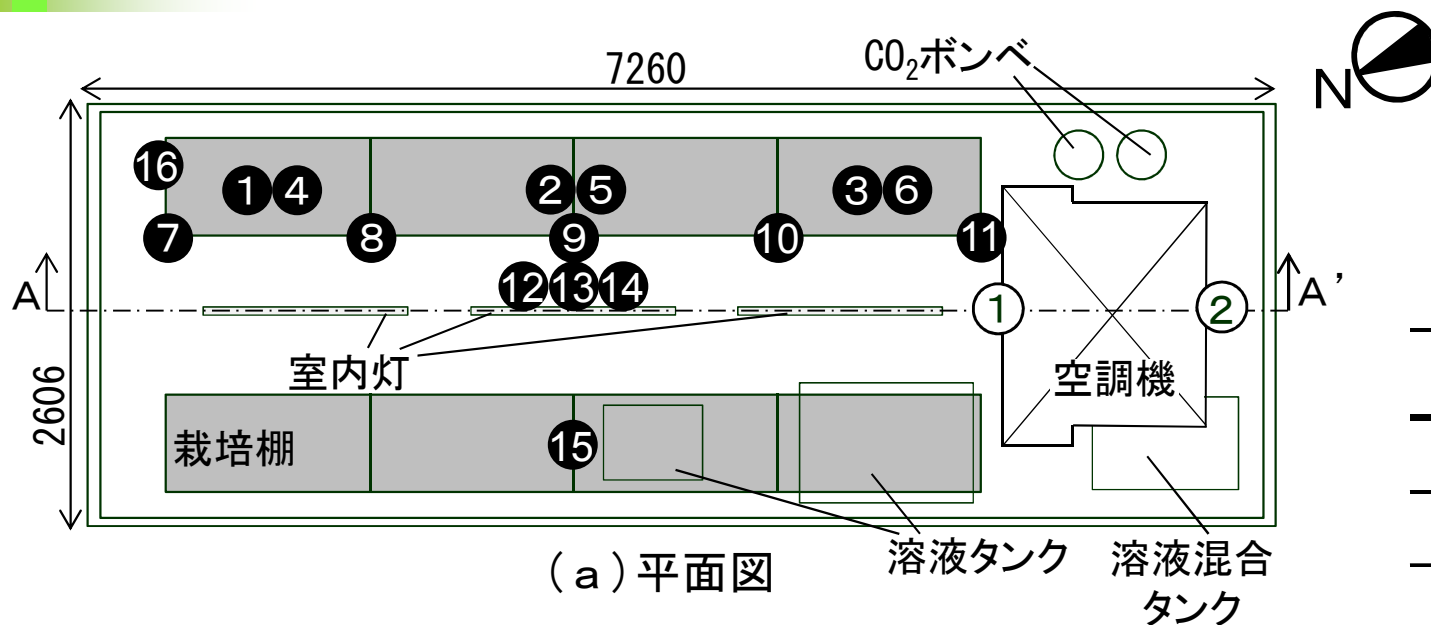


表 3 温度測定点高さ

測定点	高さ[mm]
7	1300
8	1300
9	1300
10	1300
11	1300
12	2800
13	500
14	50

図 3 実在植物工場の温湿度測定点

●: 温度測定点(熱電対)
○: 温湿度測定点(温湿度計)

表 2 実在植物工場の稼働状況(12月18日 * 6)

日平均外気温[°C]		1.1
空調機条件	設定室温[°C] * 7	23
室内発熱負荷	LED照明[W]	1152
	LED電源ユニット[W]	640
	育苗用蛍光灯[W]	256
	計[W]	2048
外壁条件	熱貫流率[W/(m ² ・K)]	0.68

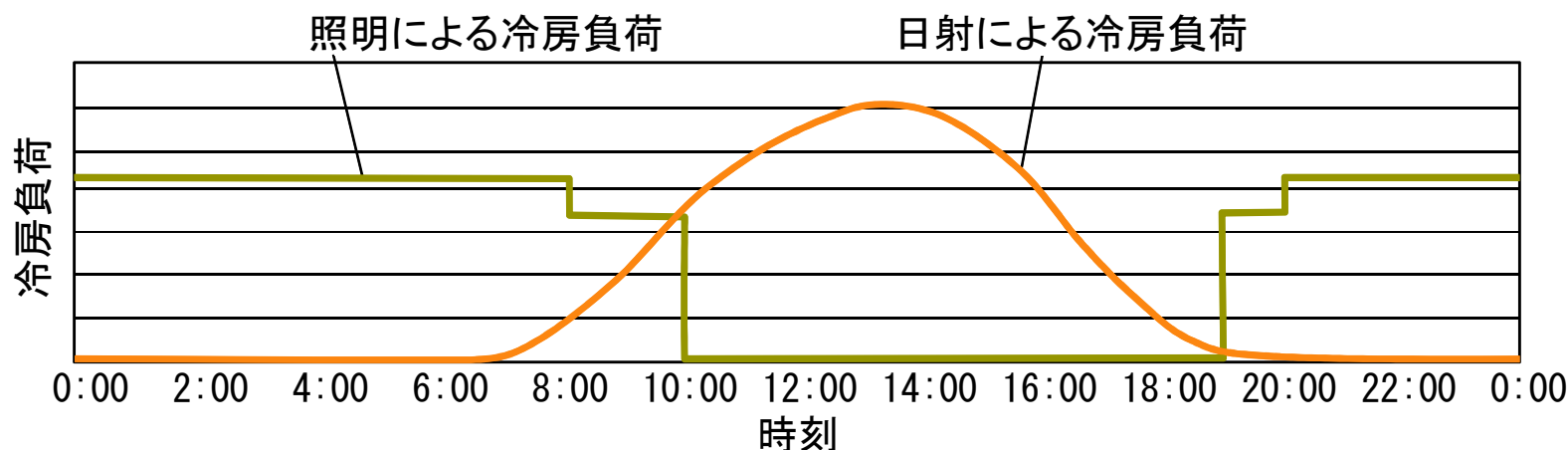
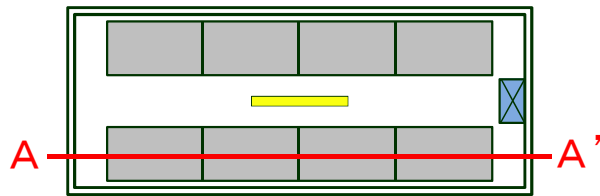


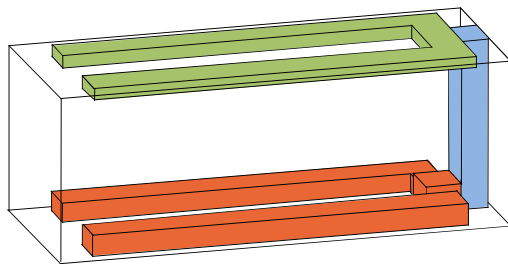
図 冷房負荷の時間帯

- * 6 実測期間は実際に植物を栽培している10月20～1月26日とし、12月18日を代表日とする
なお、空調機はヒートポンプユニットが稼働している
- * 7 測定点⑦付近の壁に設置された空調機の温度計が24°Cを上回ると冷房が稼働し、22°Cまで下降すると冷房が停止し送風状態となる

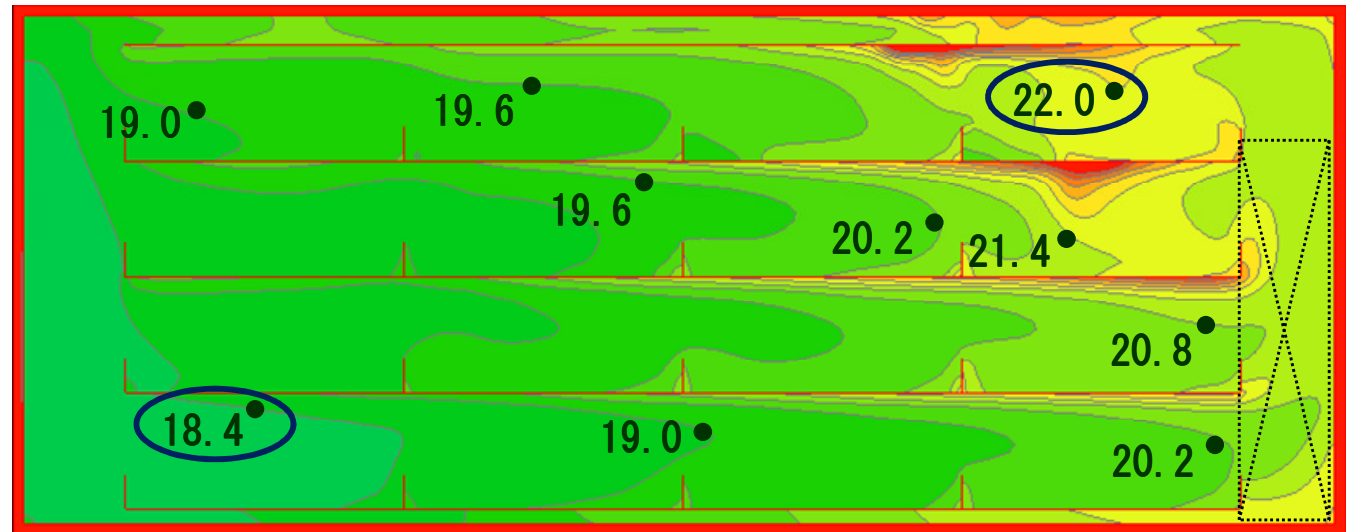
解析結果 - コンテナ型植物工場



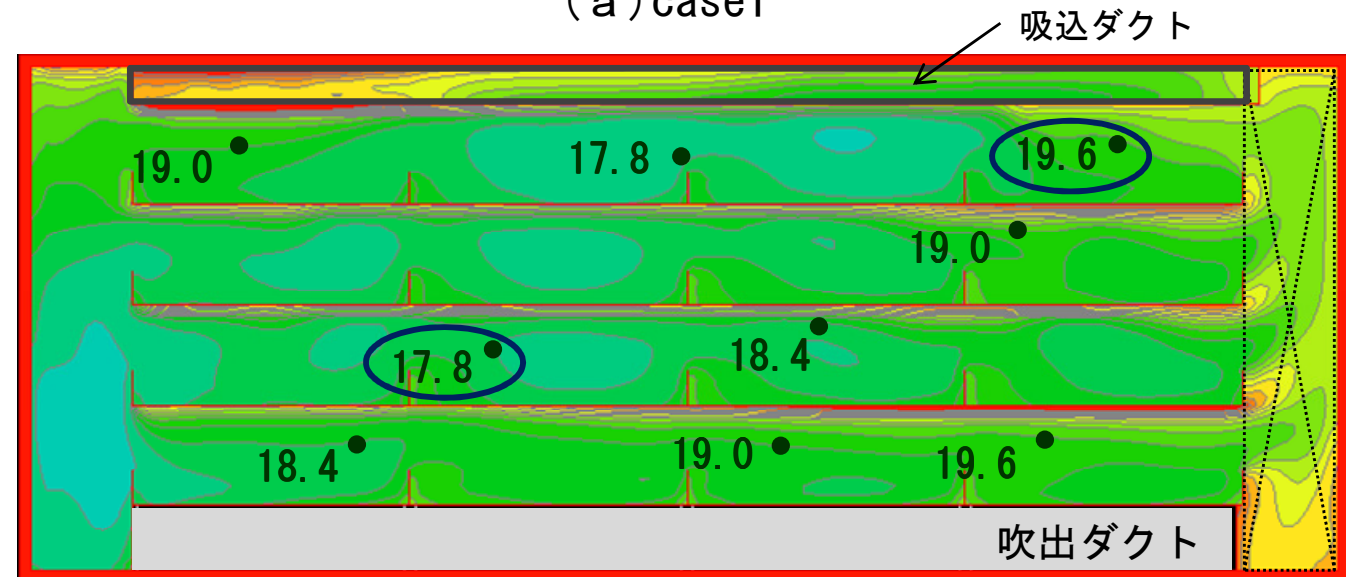
棚内温度差
約 3.6°C



棚内温度差
約 1.8°C



(a) case1



(b) case2

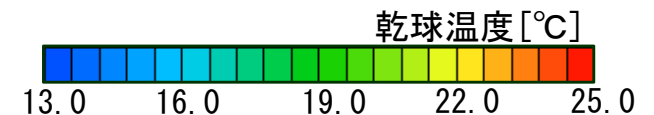


図4 コンテナ型植物工場の各caseの
温度分布(A-A'断面)

実測結果 - 実在植物工場

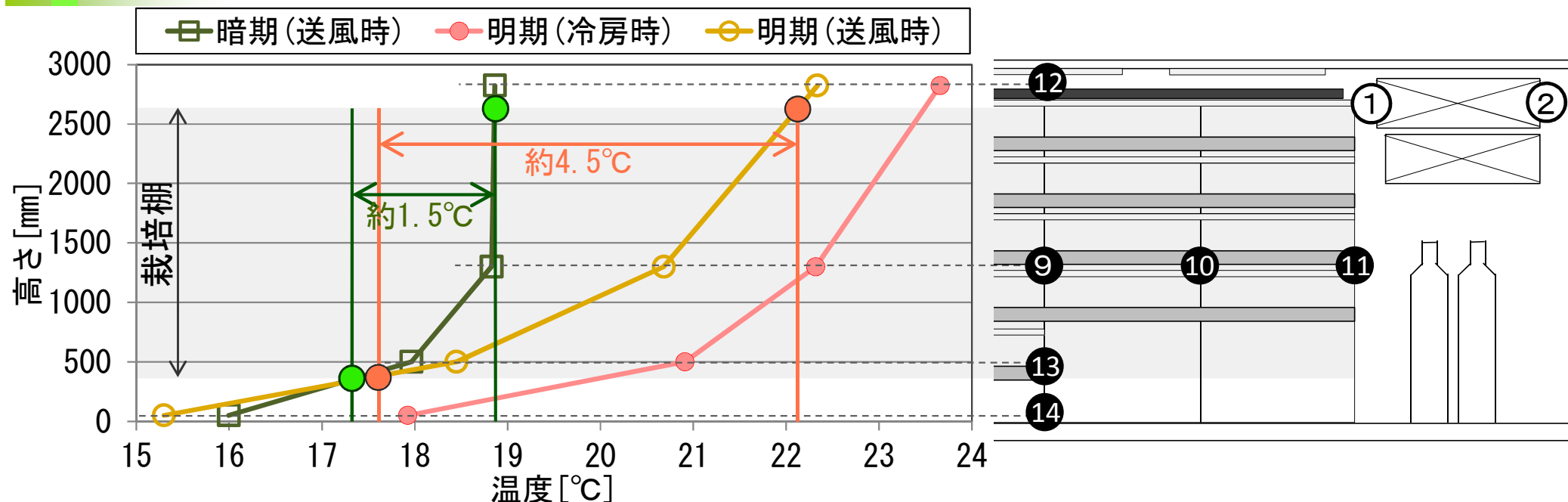


図5 実在植物工場の室中央における垂直方向の平均温度分布(12月18日)

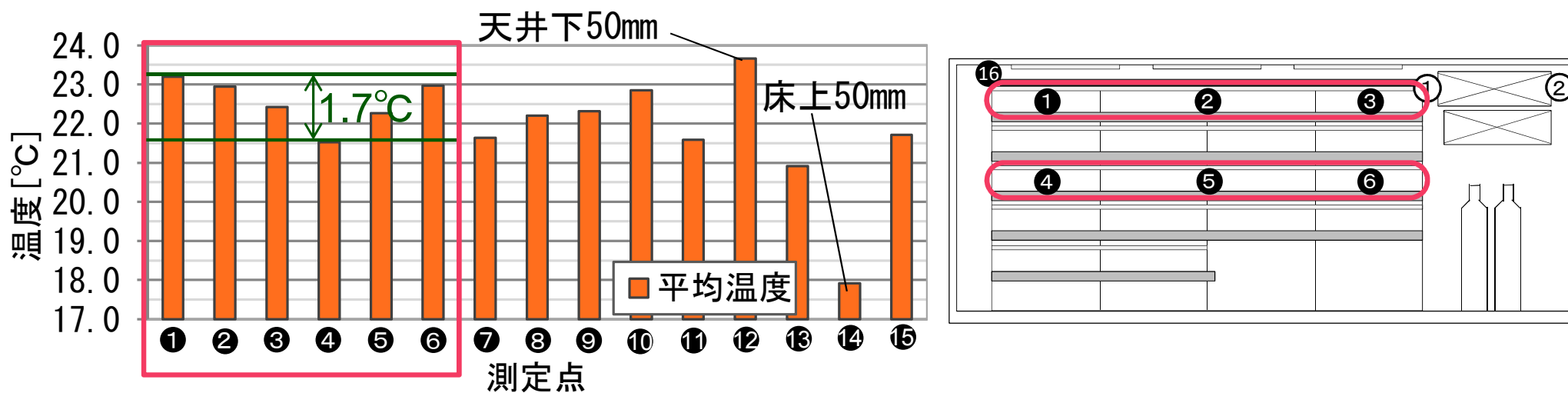


図6 実在植物工場における明期(空調時)の各測定点平均温度(12月18日)

実測結果 - 実在植物工場

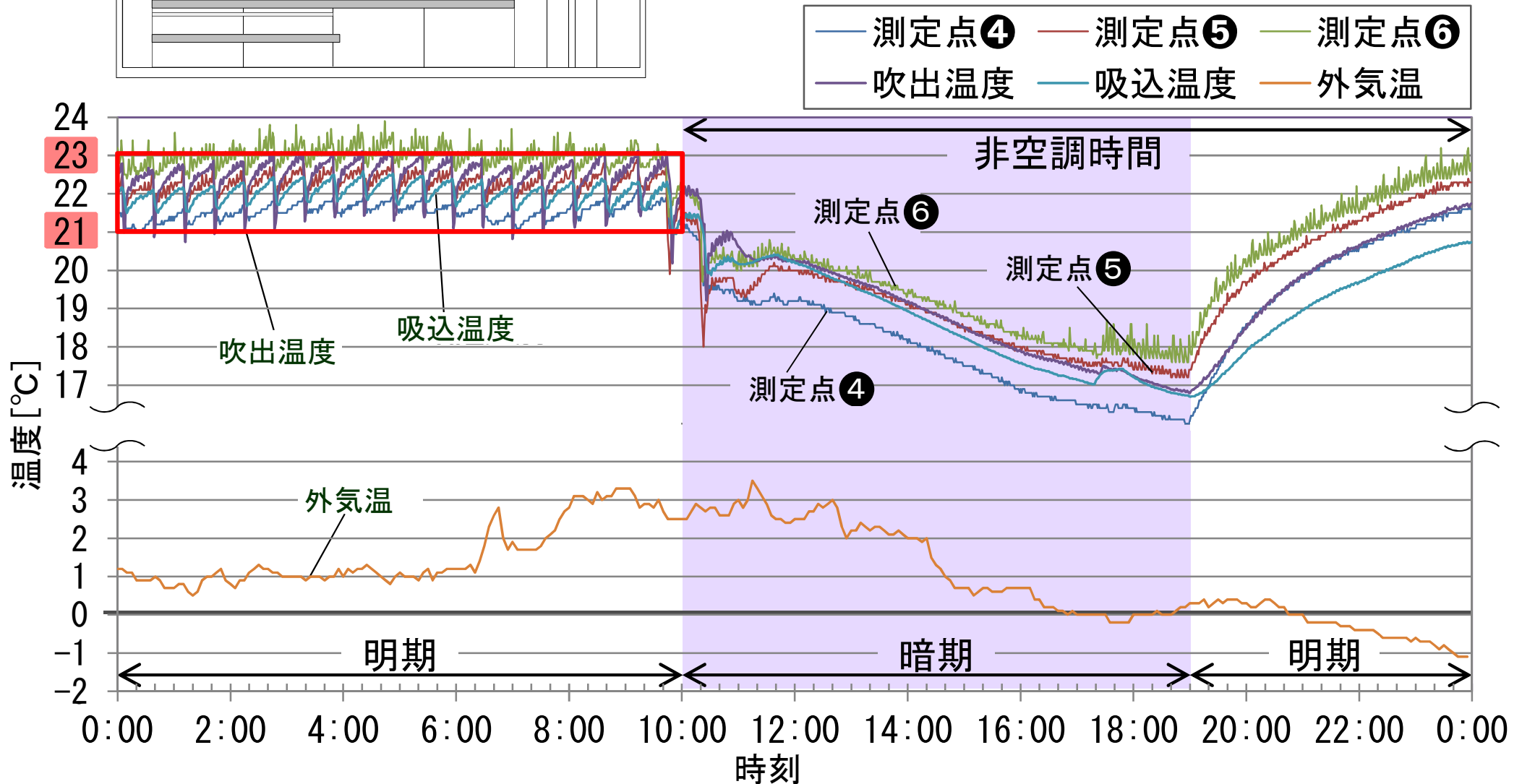
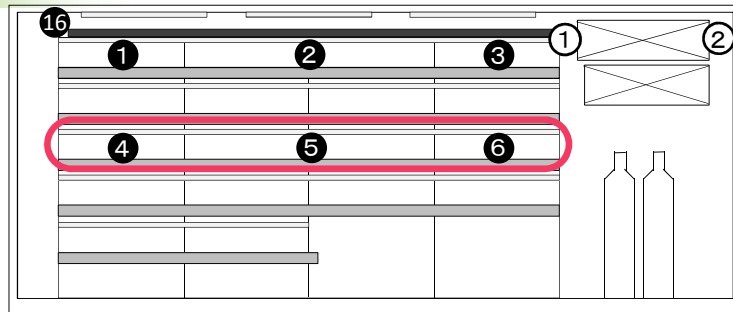


図7 実在植物工場における栽培棚内及び空調機の吹出・吸込温度変化(12月18日)

栽培室内の温度分布は空調機の吹出口と吸込口にダクトを
設け、空調機の風量を増やし、吹出温度差を小さくするこ
とで温度分布をより均一にできる

LED照明を用いた実在植物工場は、冬季では各栽培棚内の
温度差が比較的小さい

今後、南魚沼市の植物工場を対象に継続的に温熱環境実測
を行い、CFD解析の妥当性の検討を行う

植物工場は、施設内で植物の生育環境(光、温度、湿度、二酸化炭素濃度、養分、水分等)を制御して栽培を行う施設園芸のうち、環境及び生育のモニタリングを基礎として、**高度な環境制御と生育予測を行う**ことにより、野菜等の植物の周年・計画生産が可能な栽培施設である。

植物工場には、

- (1) 閉鎖環境で太陽光を使わずに環境を制御して周年・計画生産を行う**「完全人工光型」**
- (2) 温室等の半閉鎖環境で太陽光の利用を基本として、雨天・曇天時の補光や夏季の高温抑制技術等により周年・計画生産を行う**「太陽光利用型」**(太陽光利用型のうち、特に人工光を利用するものについては**「太陽光・人工光併用型」**という)

の2つがある。

農林水産省、経済産業省HPより

http://www.meti.go.jp/policy/local_economy/syokubutsukoujyou/syokubutsukojo_jireisyu.pdf#search='%E6%A4%8D%E7%89%A9%E5%B7%A5%E5%A0%B4'

完全人工光型植物工場の利点・欠点

利点

■ 無菌
■ 無農薬



日持ちが良い
廃棄部分がほとんどない
洗浄が必要ない

水溶性の栄養を流してしまわない
洗浄にかかる水道費、薬剤の削減
手間、人件費がかからない

- 品質(量・形・味・価格・栄養素)・価格が年中安定
- 農業知識が乏しくても栽培が可能
- 作業負荷が小さいため、高齢者や障害者の雇用につながる
- 連作障害が起こらない
- どこ(南極・砂漠・ビル・地下・塩害のある土地)でも植物が育つ
- 収穫のサイクルが短いこと、調節できること
- 小さい面積で大きな収穫量

欠点

■ 初期投資が大きいこと

小規模のものでも数千万、多くは1億弱
→ 倉庫や工場の空き建物を使うなら
大幅コストダウン

■ ランニングコスト(照明・冷房)が大きい

露地栽培の1.7~2.0倍程度

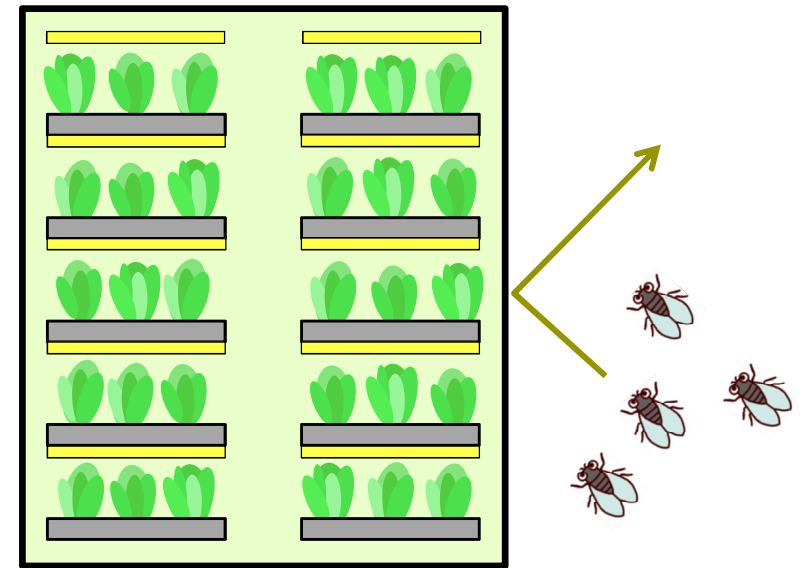
最もコストダウンに成功した例でも1.3倍程

- 栽培品目が少ない
- 販売価格がまだまだ高い
- 工業なのか農業なのかが曖昧

植物工場の種類

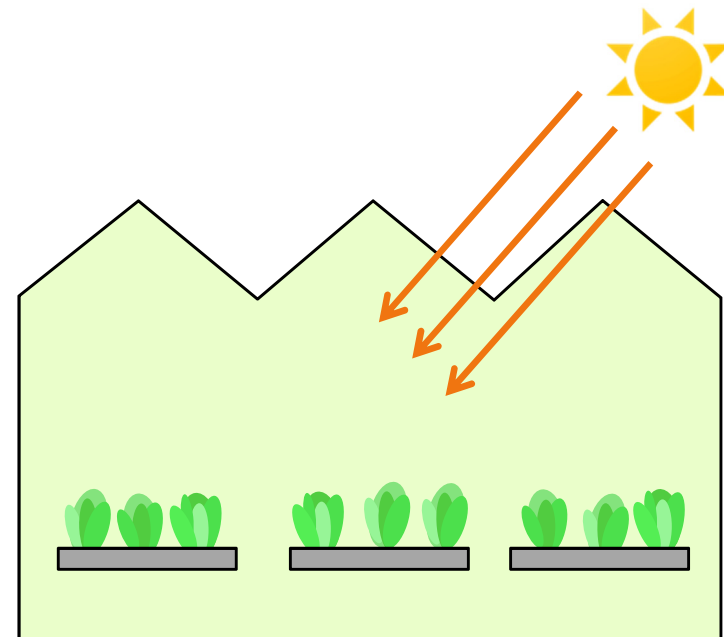
完全人工光型植物工場の特徴

人工光のみで栽培する
細菌や害虫の心配がない
棚を重ねることができる
比較的弱い光で育つ葉菜向き



太陽光利用型植物工場の特徴

太陽光を利用して栽培する
初期投資が比較的小さい
栽培光に費用がかからない
強い光を必要とする果菜向き



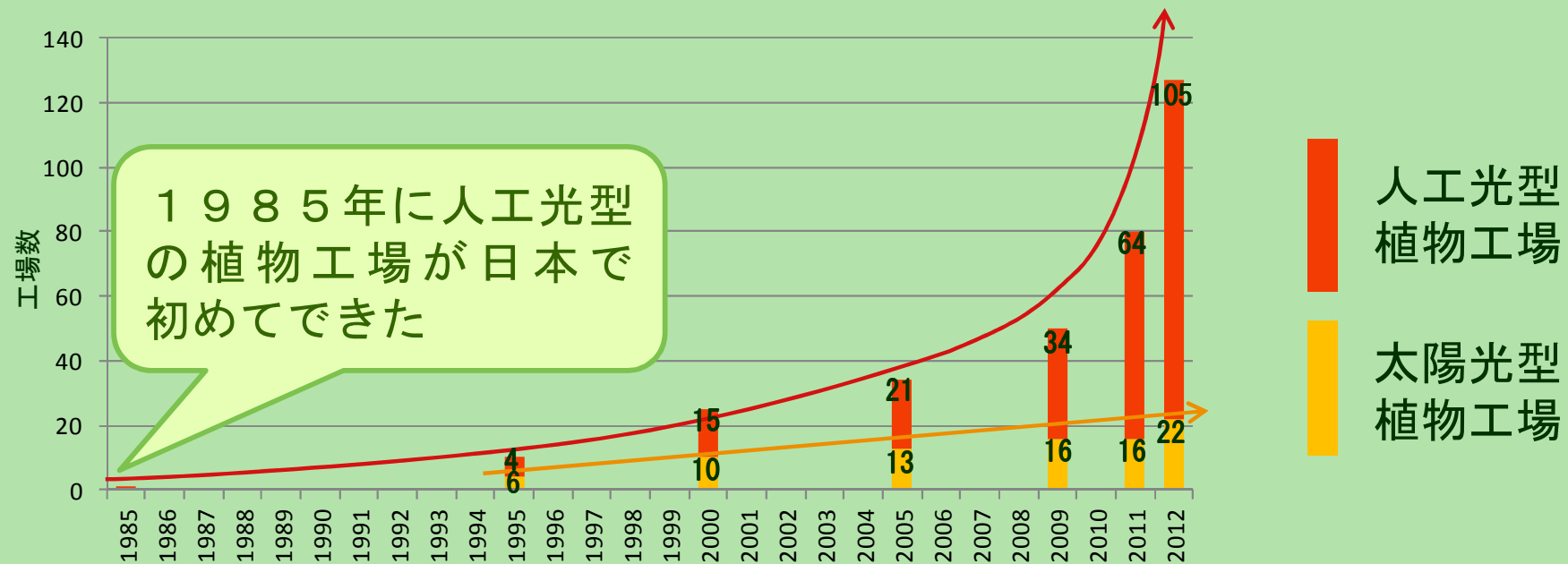


図 植物工場※数の推移

※販売を目的とした施設

- 太陽光利用型の植物工場は緩やかに増えているのに対し、人工光型植物工場は近年急激に数を増している
- 栽培品目はリーフレタス、ホウレン草、水菜、ハーブ系など葉物野菜が中心

ビタミン・ミネラルを多く含む

- ・サプリメントとしての役割をもたせる
- ・疾患の予防、可能性を下げる

花粉症抑制効果のある米 アルツハイマー病ワクチンとしての大豆 コレラ菌及び、インフルエンザワクチンとしての米

- ・摂取方法が注射ではなく食べるだけになる
- ・動物を用いた方法とは異なり、大量生産・常温での長期保存が可能になると期待されている
- ・家畜への投与が簡便になる

※独立行政法人農業生物資源研究所より

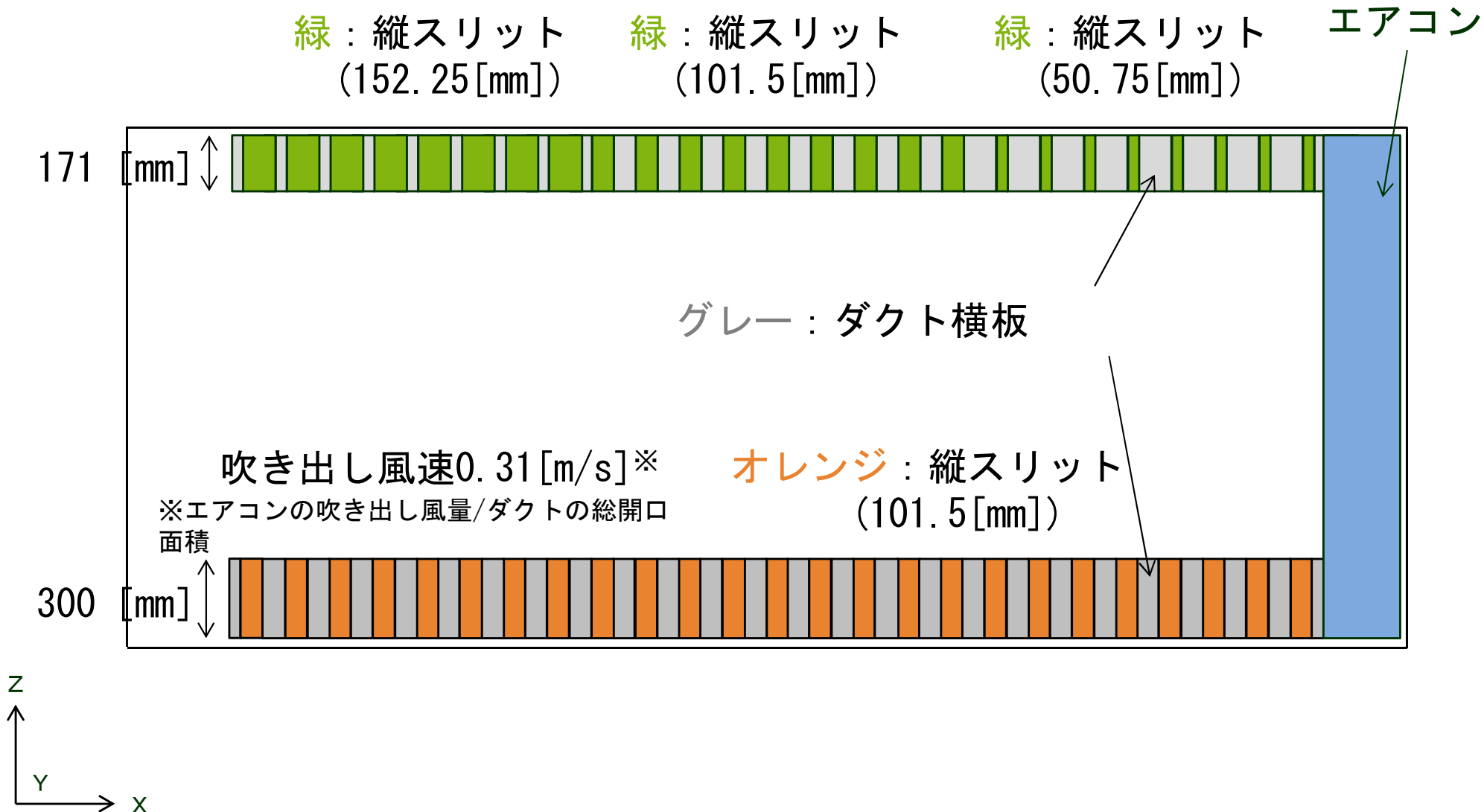


図 case2ダクト縦スリット (開口率50%)

解析条件

表 外気条件

外気温[°C]	35
外気相対湿度[%]	40
標準気象データの日付	5月31日 11:00
南中時刻	11:41
水平面の全天空日射量(W/m ²)	931.11
水平面の直達日射量(W/m ²)	820.00
水平面の天空日射量(W/m ²)	111.11
法線面直達日射量(W/m ²)	854.34
太陽高度(°)11:30	73.70
太陽方位(°)11:30	-9.40
太陽高度(rad) 11:30	1.29
太陽方位(rad) 11:30	0.16

空調機条件

		case1	case2
室内設定温度[°C]		20.0	
エアコン	吹出し温度[°C]	13.7	16.3
	吹出し風量[m ³ /h]	1980	3960

表 室内発熱負荷

	本数	蛍光灯1本当たりの 発熱発熱負荷(W)	発熱負荷(W)
植物棚	128	32	4096
室内灯	2	40	80

表 外壁条件

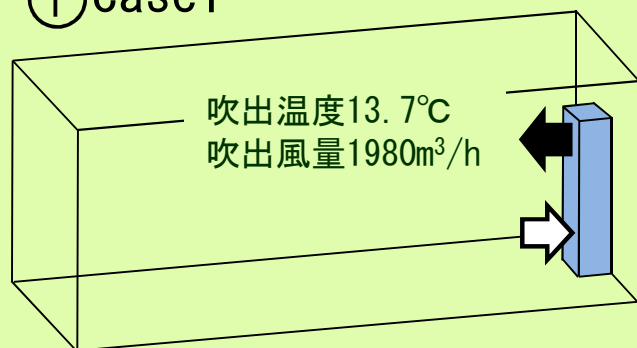
外壁の材質	厚さ[m]	密度[kg/m ³]	比熱[J/kg・K]	熱伝導率[W/m ² ・K]
アルミ	0.005	2690	933	222
グラスウール	0.05	32	810	0.034
合板	0.012	550	1300	0.15
外壁総合値	0.067	323.13	1035.79	0.586

外壁の材質	厚さ[m]	密度[kg/m ³]	比熱[J/kg・K]	熱貫流率[W/m ² ・K]
外壁総合値	0.067	323.13	1035.79	0.586

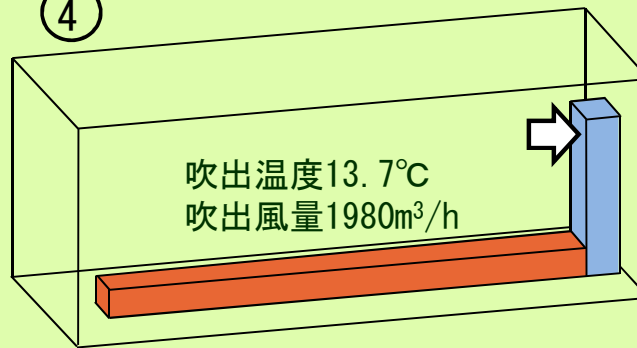
方位	東	西	南	北	屋根	床
壁面の全日射量(W/m ²)	94.72	55.56	292.12	55.56	931.11	0
直達日射量(W/m ²)	39.16	0.00	236.56	0.00	820.00	0
天空日射量(W/m ²)	55.56	55.56	55.56	55.56	111.11	0
相当外気温(°C)	37.68	36.57	43.26	36.57	61.31	35.00
外壁面積(m ²)	5.15	5.15	13.38	13.38	13.37	13.37
外壁からの貫流熱量(W)	53.43	0.00	182.41	129.97	323.86	117.58

解析条件

① case1



④



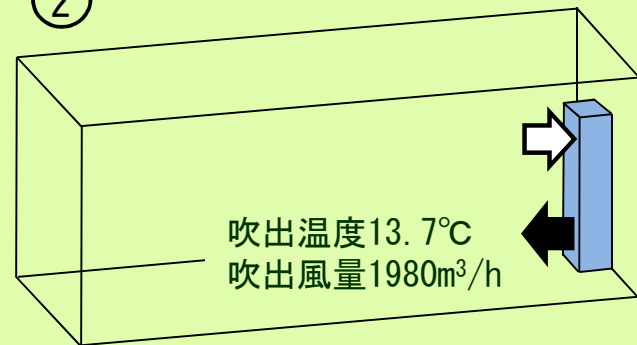
■ : 空調機

■ 吸込ダクト
(H171mm × W500mm)

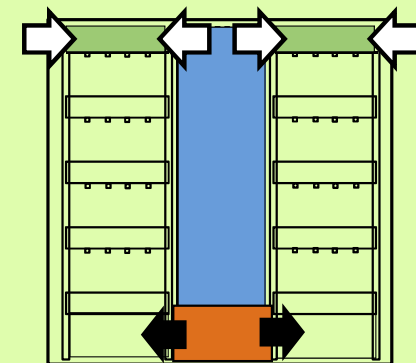
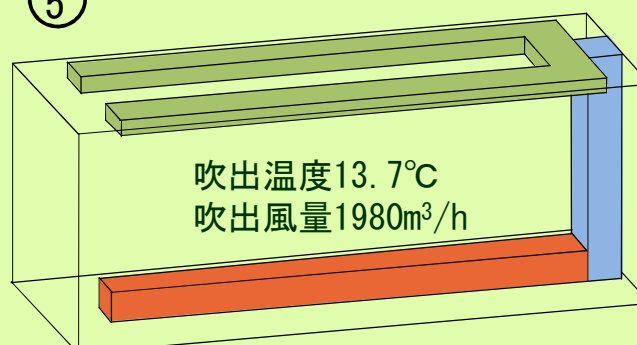
■ 吹出ダクト
(H300mm × W500mm)

■ : S A ⇨ : R A

②



⑤



③



⑥ case2

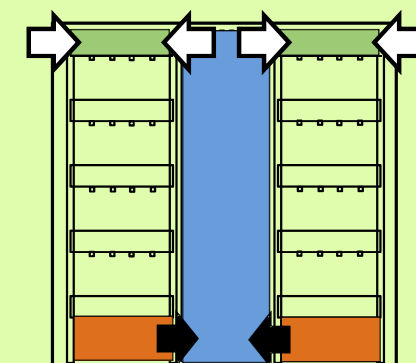
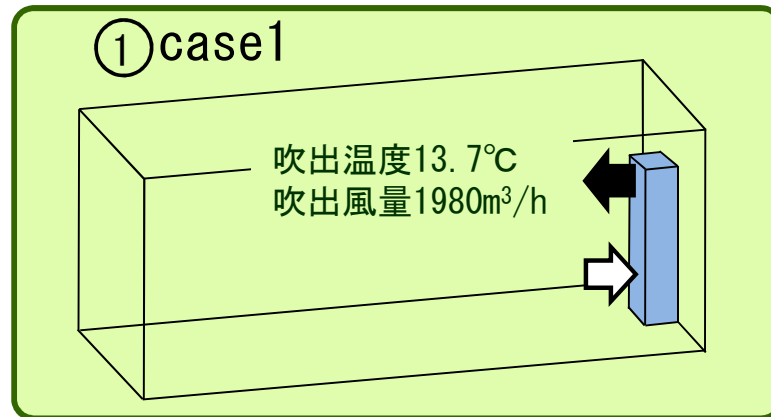
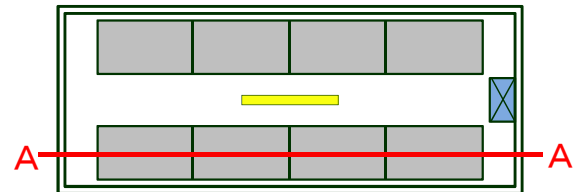


図 各解析パターン

解析結果



吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h



棚内温度差
3.8°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

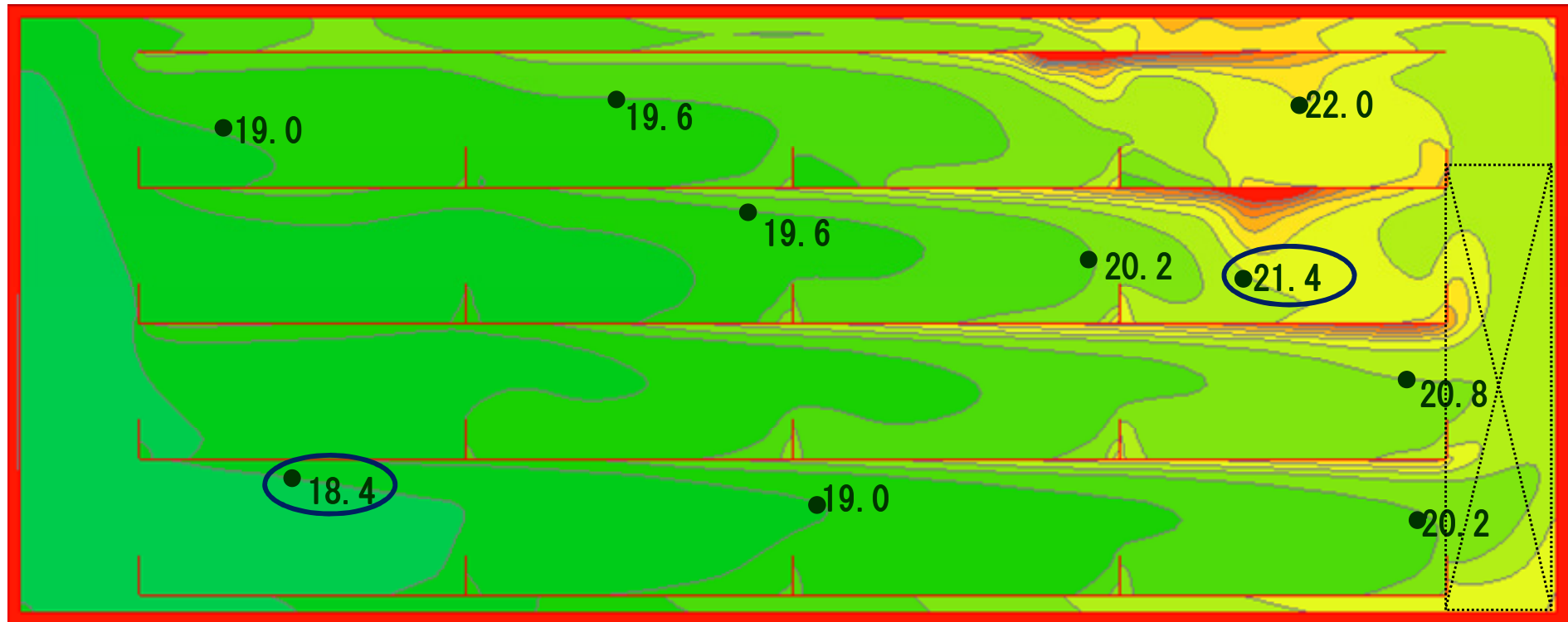
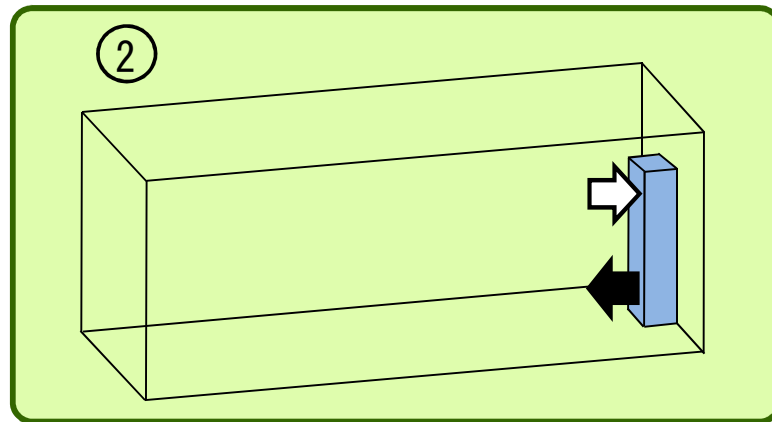


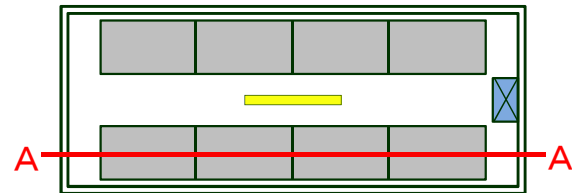
図 ①case1の温度分布(A-A' 断面) 乾球温度[°C]

13.0 16.0 19.0 22.0 25.0

解析結果



吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h



棚内温度差
3.4°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

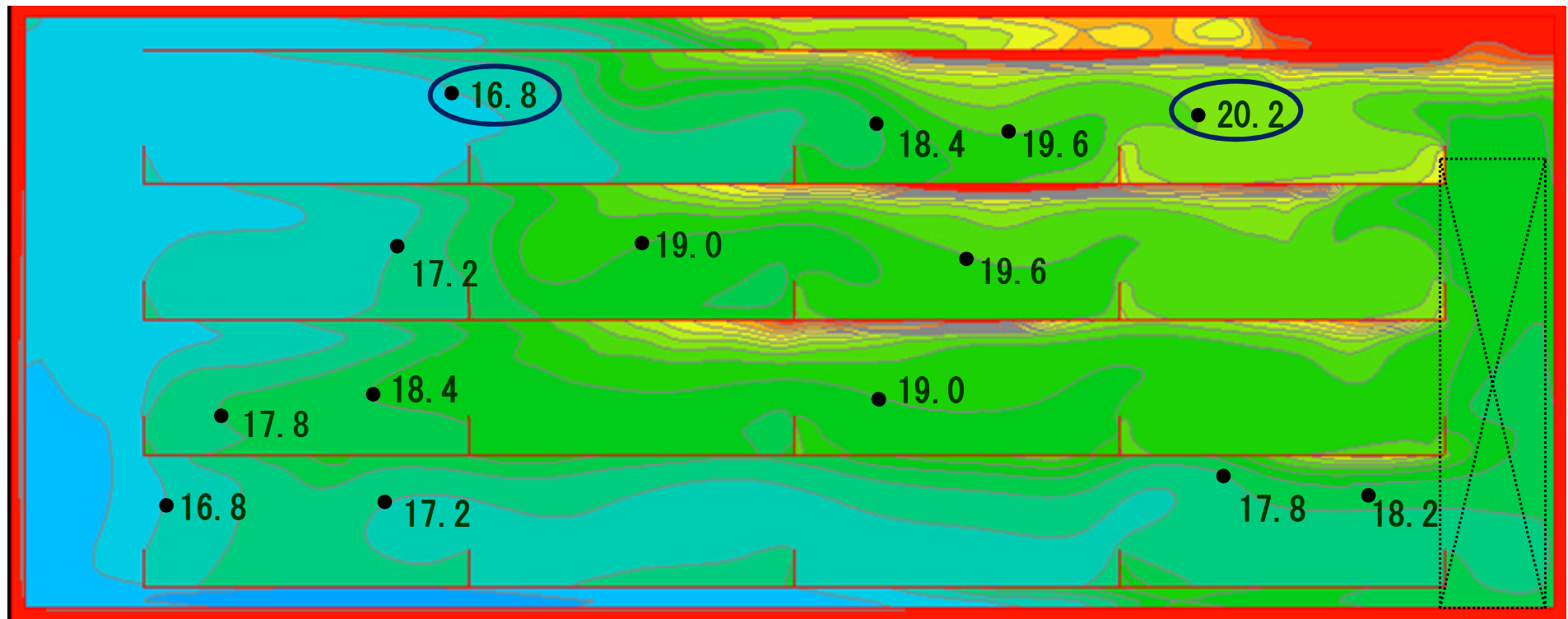
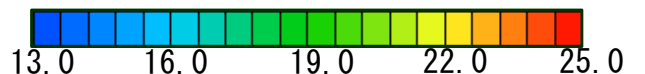
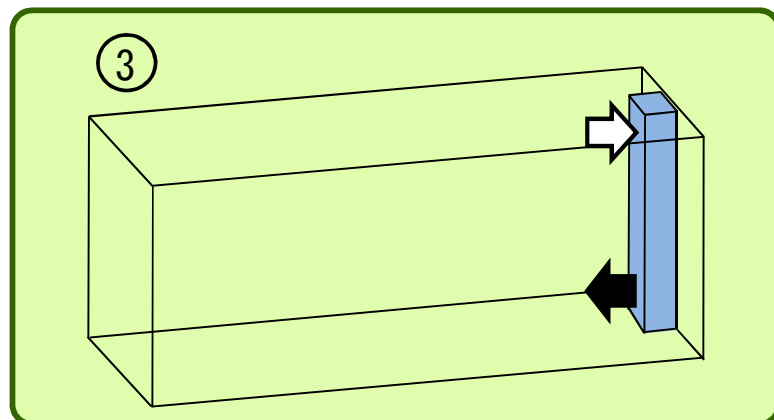
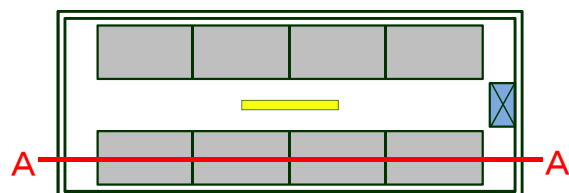


図 case②の温度分布(A-A' 断面) 乾球温度[°C]





吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h



棚内温度差
3.6°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

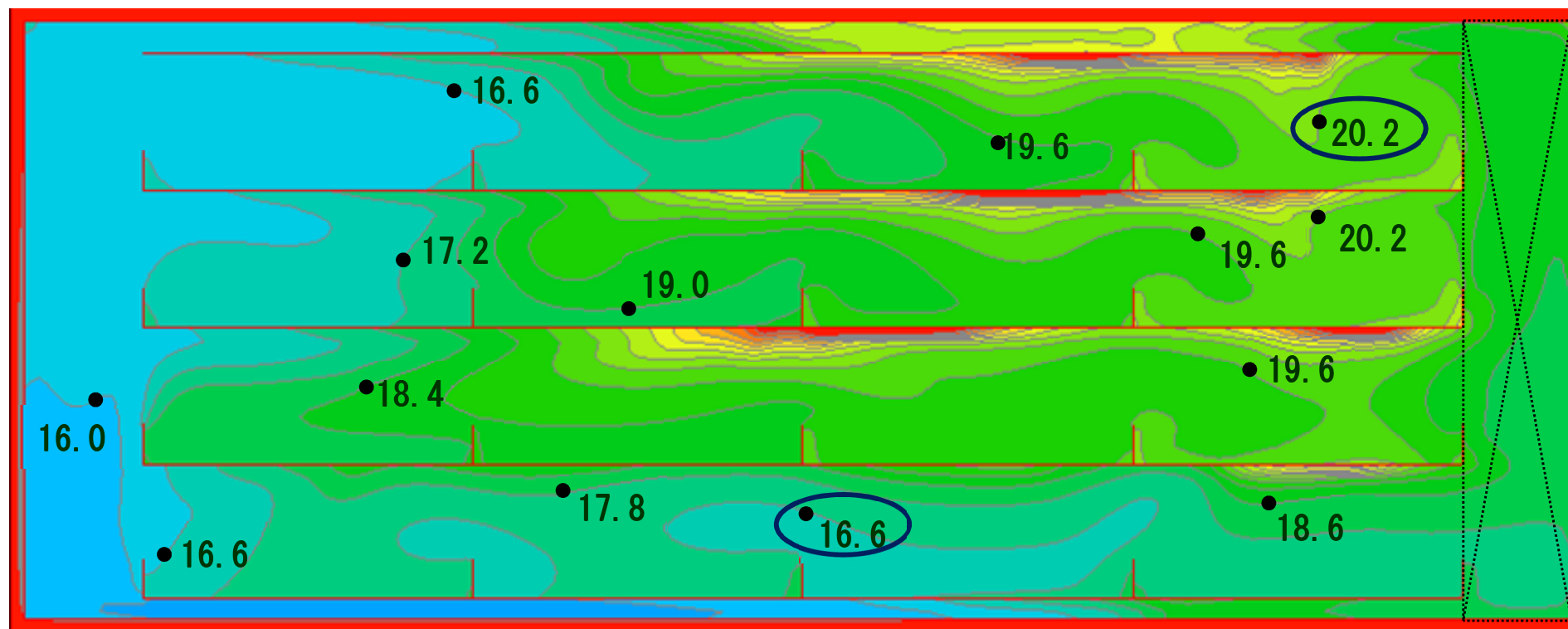
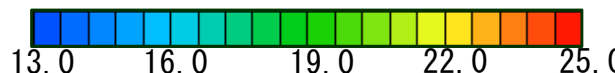
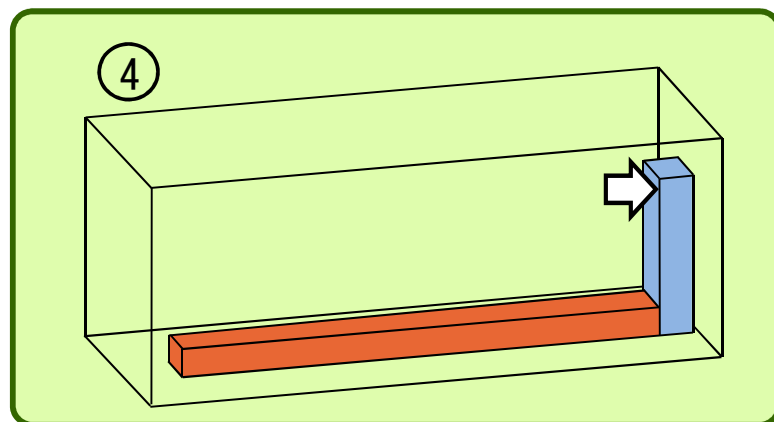


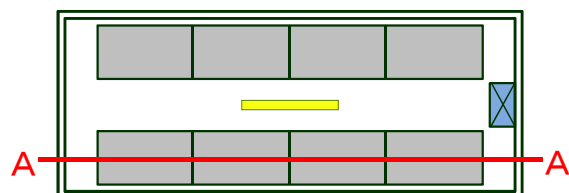
図 case③の温度分布(A-A' 断面) 乾球温度[°C]



解析結果



吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h



棚内温度差
5.4°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

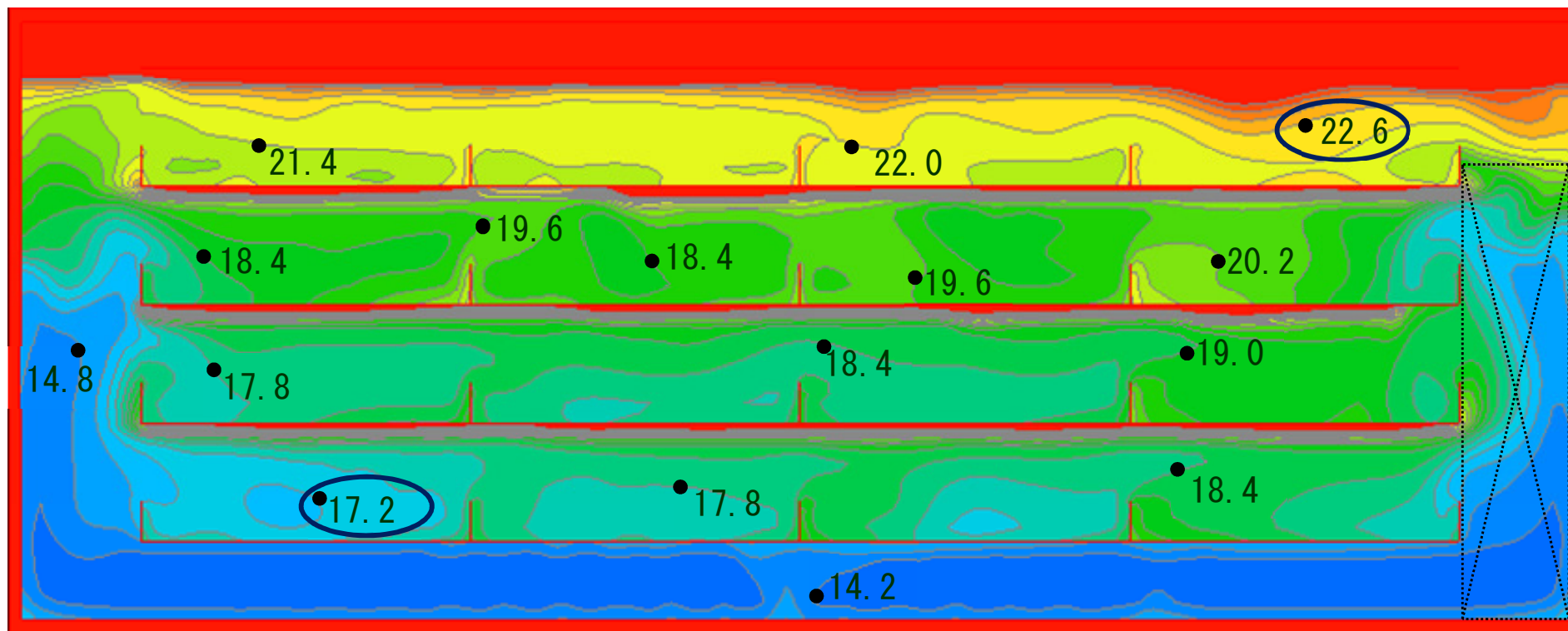
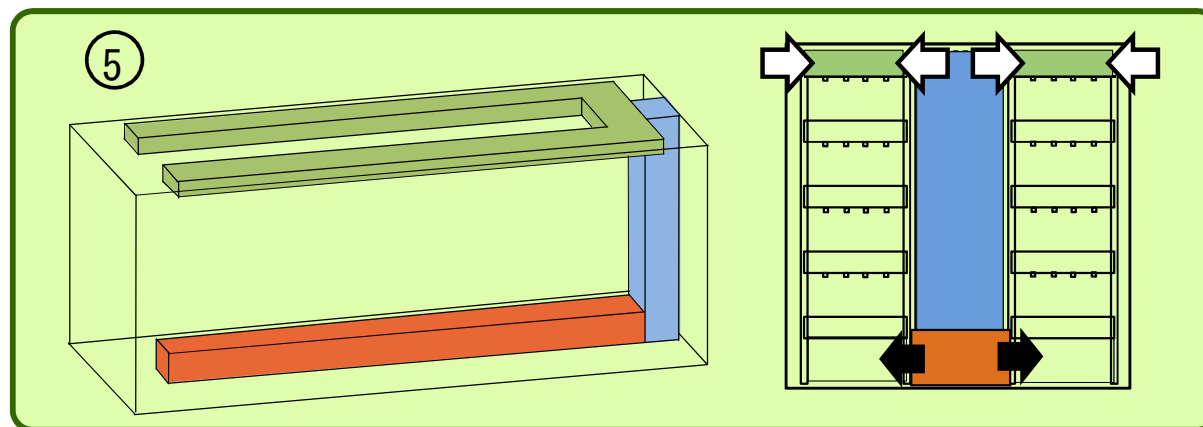


図 case④の温度分布(A-A' 断面) 乾球温度[°C]

解析条件



吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h

棚内温度差
3.4°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

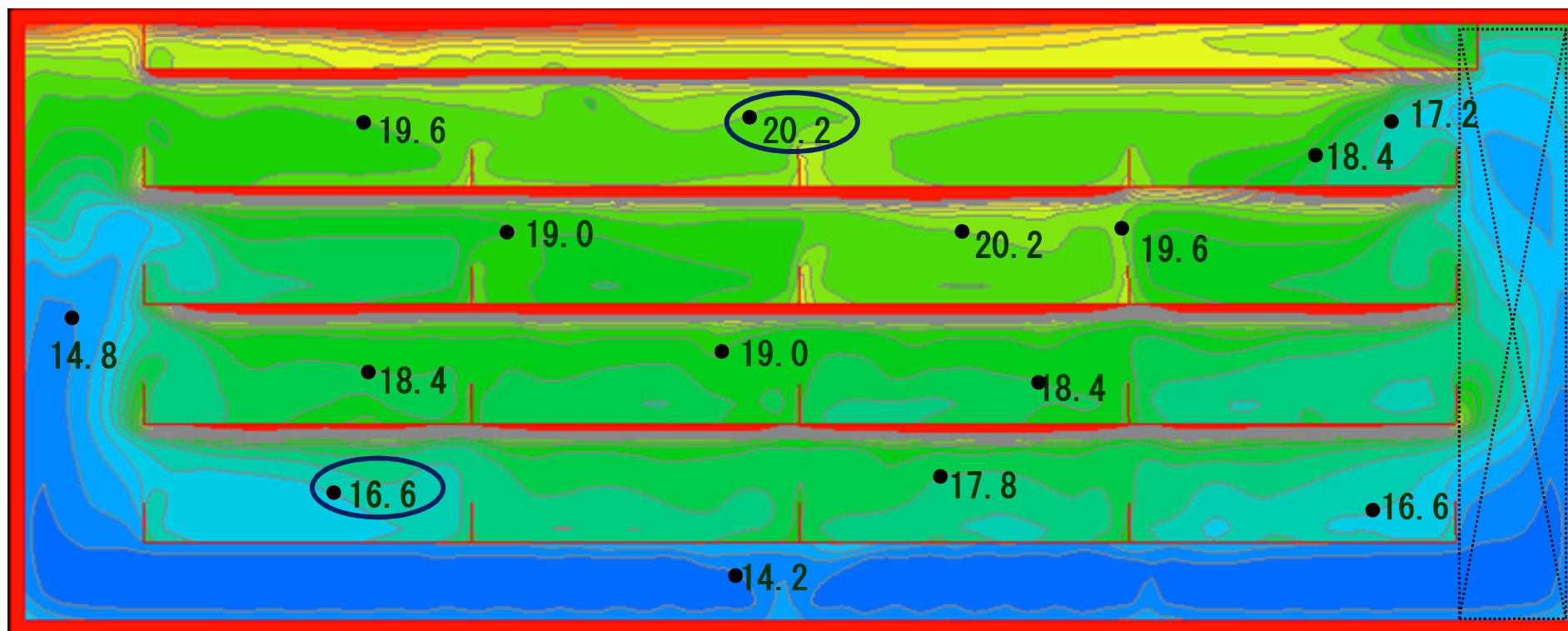
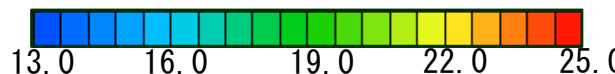
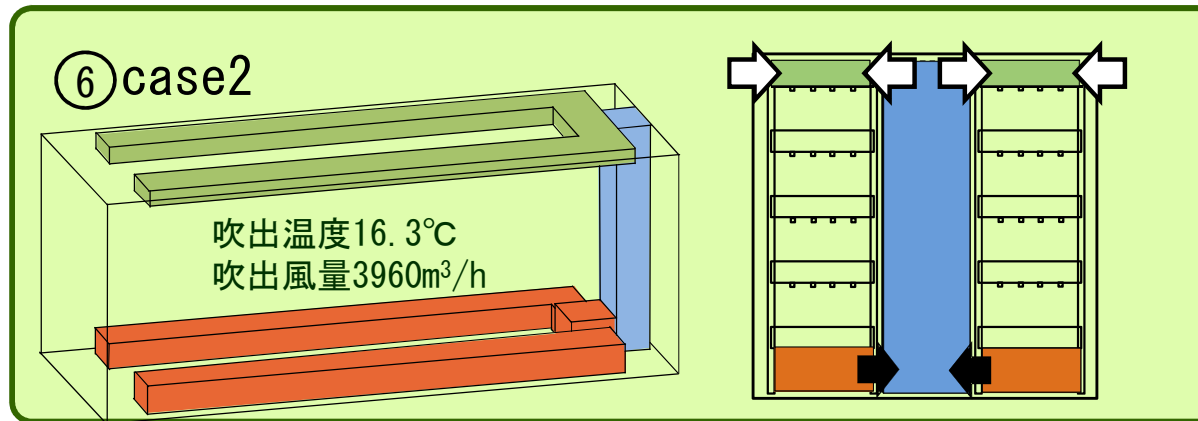


図 case⑤の温度分布(A-A'断面) 乾球温度[°C]





吹出温度 - 16.3 °C
吹出風量 - 3960 m³/h

棚内温度差
2.2℃

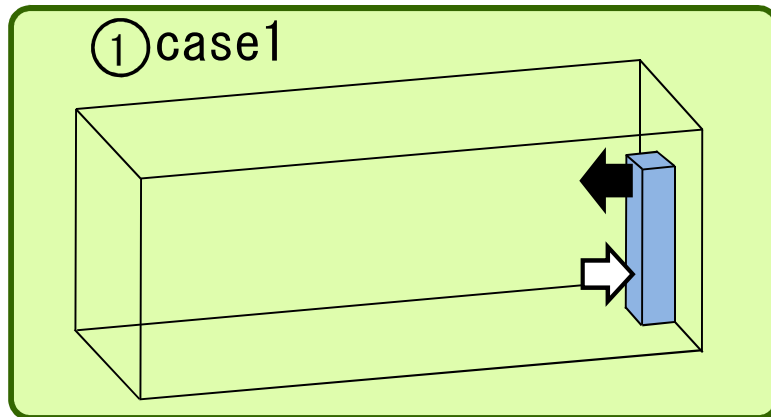
図 空調機の吸込口と吹出口の概要



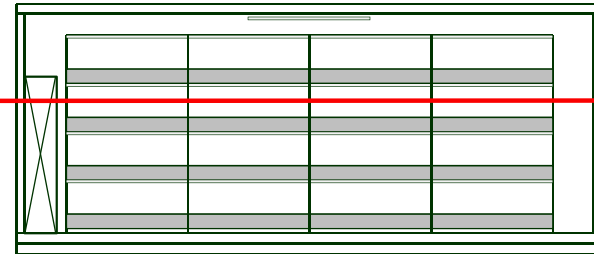
図 ⑥case2の温度分布(A-A' 断面) 乾球温度[°C]

13.0 16.0 19.0 22.0 25.0

解析結果



吹出温度 - 13.7 °C
吹出風量 - 1980 m³/h



棚内温度差
4.2°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

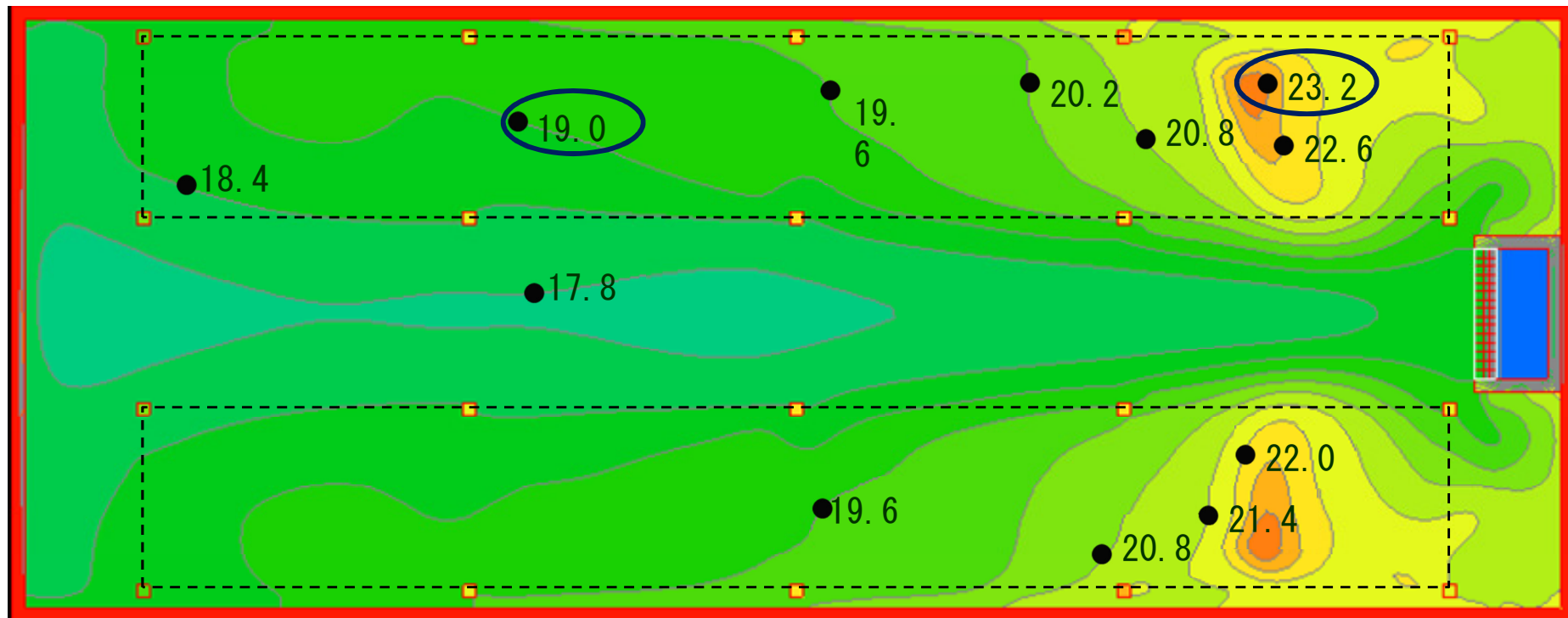
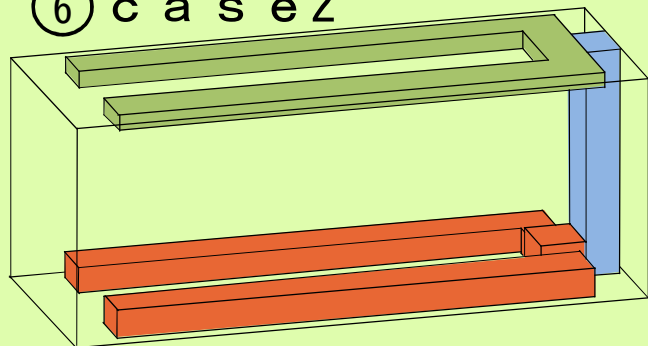


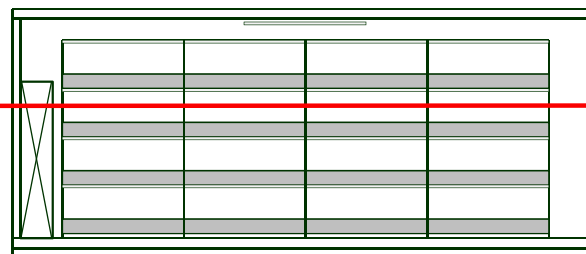
図 case1の温度分布(3段目水平断面) 乾球温度[°C]

解析条件

⑥ case 2



吹出温度 - 16.3 °C
吹出風量 - 3960 m³/h



棚内温度差
4.2°C

図 空調機の吸込口と吹出口の概要

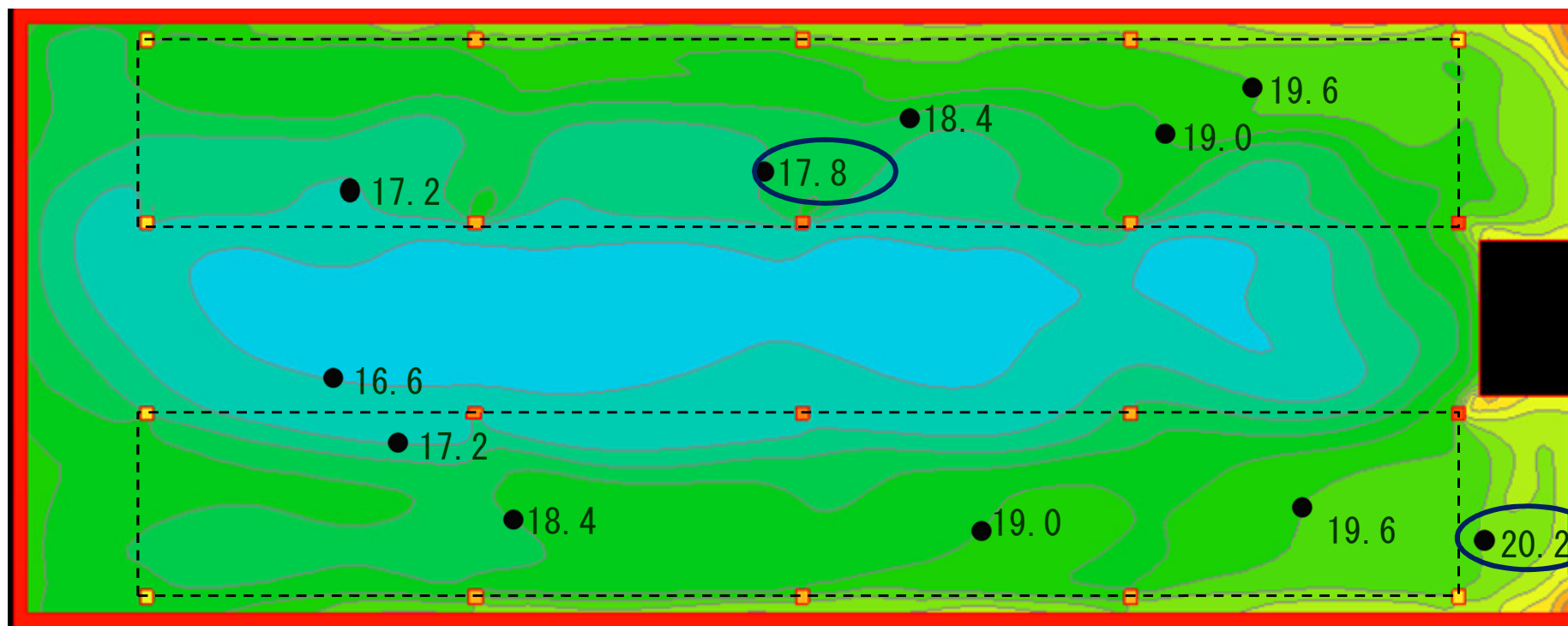


図 case2の温度分布(3段目水平断面)

乾球温度[°C]

13.0	16.0	19.0	22.0	25.0
------	------	------	------	------

- 1985 日本初の人工光型植物工場
- 2008 ジャガイモの水耕栽培に成功
(収量は土耕の約4倍、改良により10倍を見込んでいる)

植物工場の野菜は外食チェーン店やコンビニ、病院などでは多く使われている

→ 加工がしやすく、供給が安定しているため

果菜類は光量を多く必要とするため、完全人工光型植物工場には向いていない