

多棟ハウスの無線による見える化の確立 報告書



令和5年12月26日

公益財団法人東京都農林水産振興財団
地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター
のぞみ株式会社

- 母屋とハウスが離れていて、しかも分散している多棟ハウスの見回りは大変
- スマホ・PC等で活用したい農業経営機能で、6割の生産者が圃場・ハウスの遠隔監視や自動管理を希望

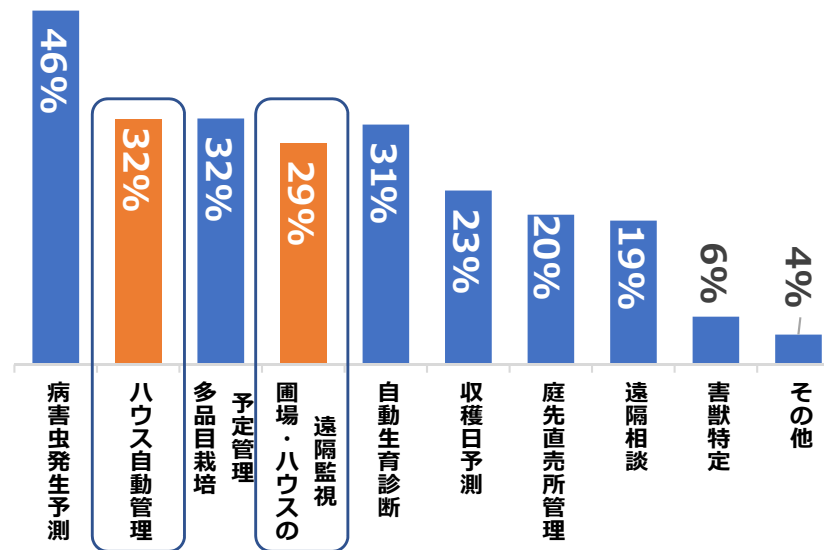
分散している多棟ハウスの 毎棟一棟ごとの見回りは大変

母屋とハウスが離れている

ハウスが分散している



■ スマホ・PC等で活用したい農業経営機能



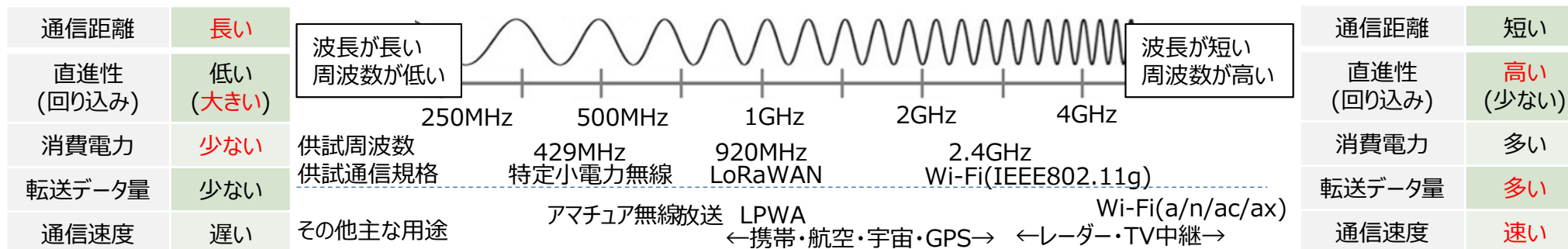
※都内生産者のスマート農業に関するニーズ調査の結果より
調査対象：JA東京青壮年組織協議会等の若手の精力的な生産者
令和2年4月下旬から6月上旬に郵送で実施、回答者 128人
(回答率50%：平均43歳)

分散した多棟ハウスでも導入しやすい、遠隔監視システムの検討

- 無線通信は配線工事が不要で、多数のセンサーとの接続が可能であり、多棟ハウスの環境監視に適するが、通信距離や作物体の影響を受けやすい
- 通信費用が基本的に無料の「429MHz帯 特定小電力無線」、「920MHz帯 LoRaWAN」と「2.4GHz帯 Wi-Fi IEEE 802.11g」を選定し、ハウス内温度の遠隔通信を検証（以降、無線通信は周波数帯で表記する）

無線通信の特徴

	メリット	デメリット
無線通信	配線が不要で、多数の端末と接続できる	通信が不安定になることがある
有線通信	通信速度が速く、安定している	配線コストが高く、端末の使用場所が限定



供試した無線通信

周波数帯/通信規格名	通信費用	一般的な利用形態	その他
429MHz帯 特定小電力無線	基本無料	トランシーバーやリモコン等、音声およびデータ伝送用	古くから親機-子機の組み合わせで利用されているが、データ伝送用としての利用は進んでいない。
920MHz帯 LoRaWAN		スマートメーター等のIoT機器通信	920MHz帯は通信規格が多く存在し、それぞれの互換性は低い。
2.4GHz帯 Wi-Fi IEEE 802.11g		無線LAN等のネットワーク通信	市販製品が多種多様で、一般に広く利用されている。

- 多棟ハウスの環境管理の省力化を図るため、無線技術を活用した低コストな遠隔監視の実現性を検証する



期待される効果

- ✓ 多棟ハウス環境測定 of 省力化
- ✓ ハウス内環境データの蓄積による品質・収量の向上

検証スケジュール

- 基礎試験：920MHz帯と429MHz帯のモジュールと温度センサを装備した子機を試作し、親機との通信距離や作物の影響による通信品質を調査（共同研究）
- 実証試験：429MHz帯を装備した温度センサを供試して、多棟ハウスの温度測定を実施

	R2年度				R3年度				R4年度				R5年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
全体	気温等の測定機の無線化試作				429MHz・920MHz帯無線通信のデータ伝達性能調査				都内農家での実証試験の準備・実証(2件)							
				▲3月上旬 通信機 検証まとめ						▲10月 共同研究終了報告書						▲12月 報告書公開



試作した920MHz帯の子機



実証試験に用いたデータロガー「おんどとり」

本実証でを使用した通信機器

- 「429MHz帯」の通信状況を調査するために、ティアンドデイ社が市販する子機と親機を使用した
- 親機と子機は、規格「特定小電力無線ARIB STD-T67」で通信する
- 子機は、温度-60℃～155℃の範囲で測定が可能

通信機器



子機
温度測定「RTR502B」



子機
温・湿度測定「RTR503B」



親機

親機仕様

	内容
本体	ワイヤレスデータロガー：ティアンドデイ社製「おんどとり RTR500BM」 ・寸法：H 96 mm × W 66 mm × D 38.6 mm ・固定アンテナ：55 mm ・LTEアンテナ「CSR-0011」：135 mm ・質量：約120g ・電源：ACアダプタ「AD-05A3（入力：AC 100-240V）」 ・動作環境：温度-10～60℃、湿度90%RH以下

子機仕様

	内容
本体	ワイヤレスデータロガー：ティアンドデイ社製「おんどとり RTR502B・RTR503B」 ・寸法：H 62 mm x W 47mm x D 19 mm ・アンテナ：24 mm ・質量：約 50g ・電源：リチウム電池3.6V 1本 ・動作環境：温度-40℃～80℃（無線通信時：温度-30～80℃）
測定対象	温度（センサ：サーミスタ）、湿度（センサ：高分子膜抵抗式）
測定範囲	-60℃～155℃

注) 「」は商品名、型番

- 「920MHz帯」の通信状況を調査するためにセンスウェイ社が市販する親機を用い、子機はワンボードマイコンと通信モジュール、温度センサの構成で試作した
- 親機と子機は、規格「LoRaWAN」で通信し、子機は温度-55℃~+150℃の範囲で測定が可能

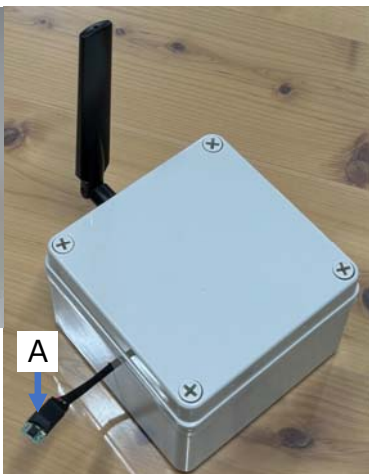
通信機器



親機



通信モジュール



試作子機

通信モジュールに温度センサ (A) を取付
防水ケースに格納して使用

親機仕様

	内容
本体	センスウェイ社製「LoRaWANゲートウェイ」 ・寸法：L:116 x W:91 x H:27 mm ・アンテナ：195 mm ・質量：約160g ・電源：DC 5V / 2A ・動作環境：-10℃ ~ 55℃

子機仕様

	内容
本体	ワンボードマイコン：アルディーノ社「Arduino Uno R3」 通信モジュール：キーウイテクノロジー社製「LoRaWAN Shield for Arduino ADB922S_EVB_v1.2_0123」 ・寸法：L:122 x W:122 x H:80 mm (防水ケース込) ・アンテナ：127 mm ・質量：約322g ・電源：リチウム電池9V/1200mAh ・動作環境：ワンボードマイコン-40℃~85℃、通信モジュール0℃~40℃
測定対象	温度 (センサモジュール：「ADT7410 I2C・16Bit」)
測定範囲	-55℃~+150℃

注) 「」は商品名、型番

- 「2.4GHz帯」の通信状況を調査するために、バッファロー社が市販する親機とティアンドデイ社が市販する子機を用いた
- 親機と子機は規格「Wi-Fi IEEE802.11g」で通信する
- 子機は、温度0℃～55℃の範囲で測定が可能

通信機器



親機



子機

親機仕様

	内容
本体	アクセスポイント：バッファロー社製「WEX-1166DHP」 ・寸法：W 160 mm × H 80 mm × D 28 mm ・アンテナ：915 mm ・質量：約253g ・電源：AC100V 50/60Hz ・動作環境：温度0～40℃、湿度10～85%

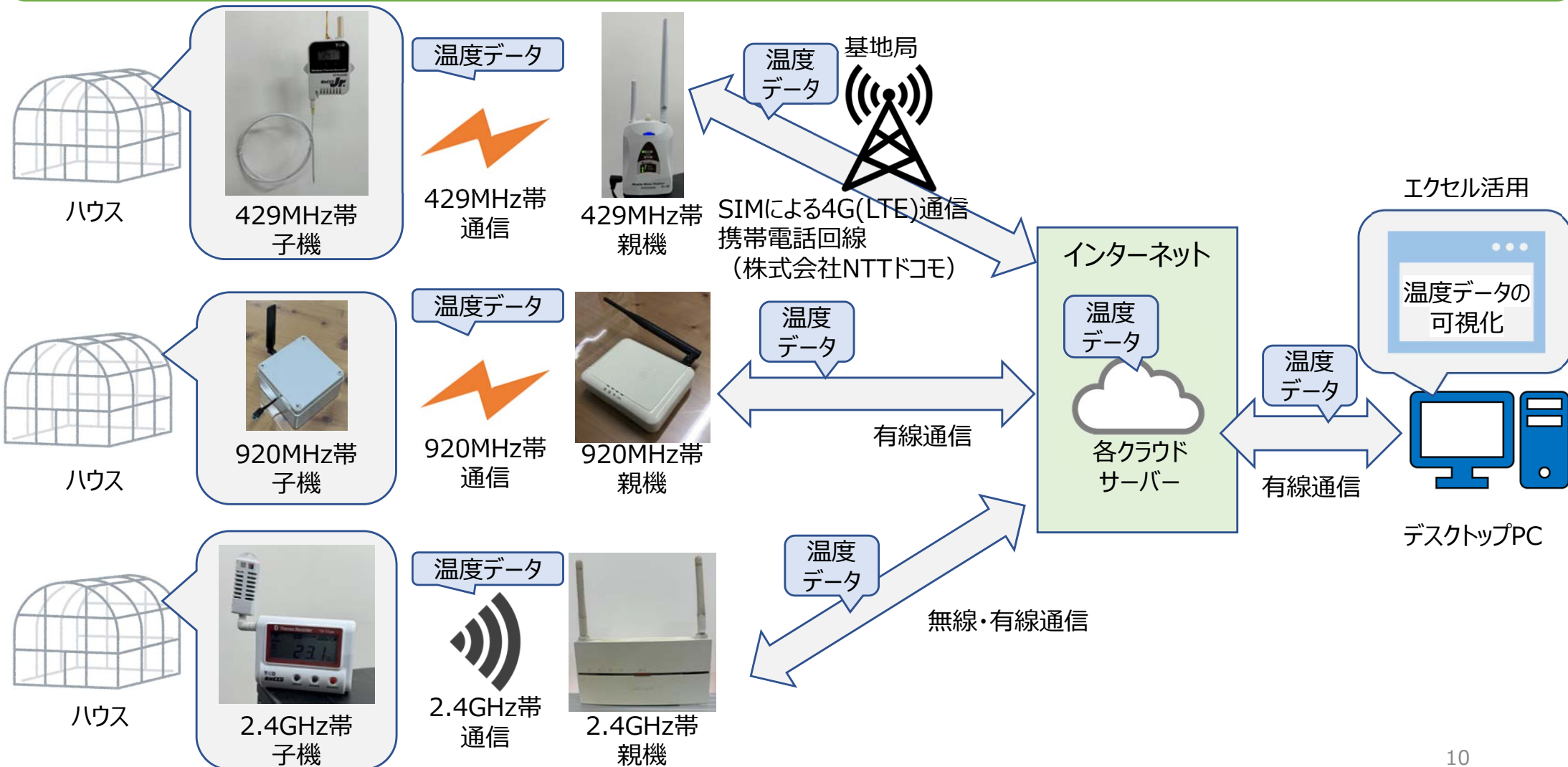
子機仕様

	内容
本体	温度・湿度ロガー：ティアンドデイ社製「おんどり TR-72wb」 ・寸法：H 58 mm x W 78 mm x D 26 mm ・アンテナ：本体内蔵 ・質量：約55g ・電源：単3アルカリ電池 2本 ・動作環境：温度-10～60℃、湿度90 %RH以下
測定対象	温度（サーミスタ）、湿度（高分子膜抵抗式）
測定範囲	温度：0～55℃、湿度：10～95%RH

注) 「」は商品名、型番

ネットワークを介した温度データの伝送方法

- 通信経路は、ハウスに設置した子機の温度センサで温度データを取得し、各波長の無線通信を介して、ハウス内あるいは離れの建物に設置した親機に伝送する
- 親機からは「429MHz帯」では4G（LTE）通信、「920MHz帯」では有線通信、「2.4GHz帯」では無線・有線通信を介して、インターネット上のクラウドサーバに温度データを伝送後、有線通信で温度データを端末で取得し、エクセルを活用して温度データを可視化・分析する



基礎試験① 長距離通信試験（920MHz帯）

- 920MHz帯の長距離通信における通信状況を調べるため、産技研の敷地内にある「多摩テクノプラザ」とそこから距離245m、高低差2mの位置にある農総研の「ハウスA棟」と距離320m、高低差15mの「ハウスB棟」を使用
- 通信試験は、多摩テクノプラザ2階に親機を設置し、ハウスA棟とB棟と子機を設置して実施

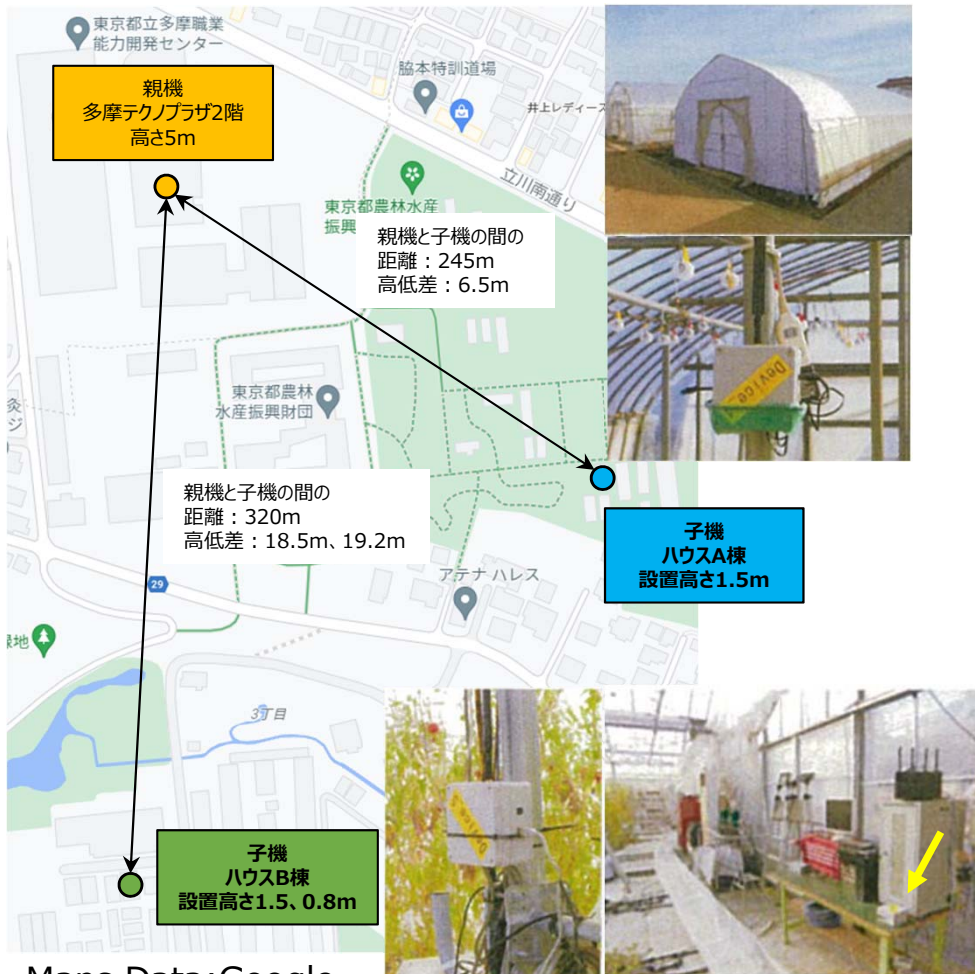
通信機器の設置場所



Maps Data:Google,Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA,GEBCOLandsat / Copernicus

- 親機は「多摩テクノプラザ2階（高さ5m）」屋内に1台を設置、子機はハウスA棟内の高さ1.5mとハウスB棟内の高さ1.5、0.8mに各1台の合計3か所に設置した

親機と子機の配置



Maps Data: Google,
地図データ@2023

写真内の黄色矢印は
子機の設置場所を示す

設置条件

機器名	設置場所	距離 (m) ※1	設置高さ (m) ※2	高低差 (m) ※3	見通し
親機	多摩テクノプラザ2階	—	5	—	—
子機	ハウスA棟内	245	1.5	6.5	有り
	ハウスB棟内	320	1.5	18.5	無し
			0.8	19.2	

※1、※3：親機と子機の間における距離と高低差を示す

※2：ハウスの子機の設置高さを示す

- 子機の温度センサで測定した温度データを1分毎に送信し、クラウドサービス（Ambient）を活用してデータを取得
- 取得データをもとに測定期間における設置条件別のデータ転送確度を受信率で示した

調査内容

	内容
使用子機	試作子機
送信データ	温度センサで測定した温度データを送信
データ送信間隔	1分毎の温度データを送信
データ取得	クラウドサービス（Ambient※）を活用しデータ取得
測定期間	2021年3月2日から2021年3月4日
調査項目	受信率（%）：受信成功回数/送信回数×100 受信成功は温度データが読み取れた回数を示す

※Ambient：マイコンなどから送られたセンサデータをリアルタイムで可視化する一般的なサービスであり、本実証では取得した温度データをグラフ化するために使用

設置条件別の受信率

- 見通しがある条件では245m離れた場所でも受信率99.9%で十分な通信品質が確保できた
- 見通しが無い条件においては、設置高1.5mで73.9%と断片的に電波が届いたが、0.8mでは37.0%と地面に近いほど欠測が多くなりデータの連続性を確保できなかった

設置条件別の受信率

設置条件				測定日（2021年3月）			受信率平均 （%）
設置場所	設置高	距離	見通し	2日	3日	4日	
ハウスA棟	1.5m	245m	有り	100.0	99.7	99.9	99.9
ハウスB棟	1.5m	320m	無し	66.2	74.4	81.0	73.9
	0.8m			44.1	32.3	34.5	37.0

基礎試験②

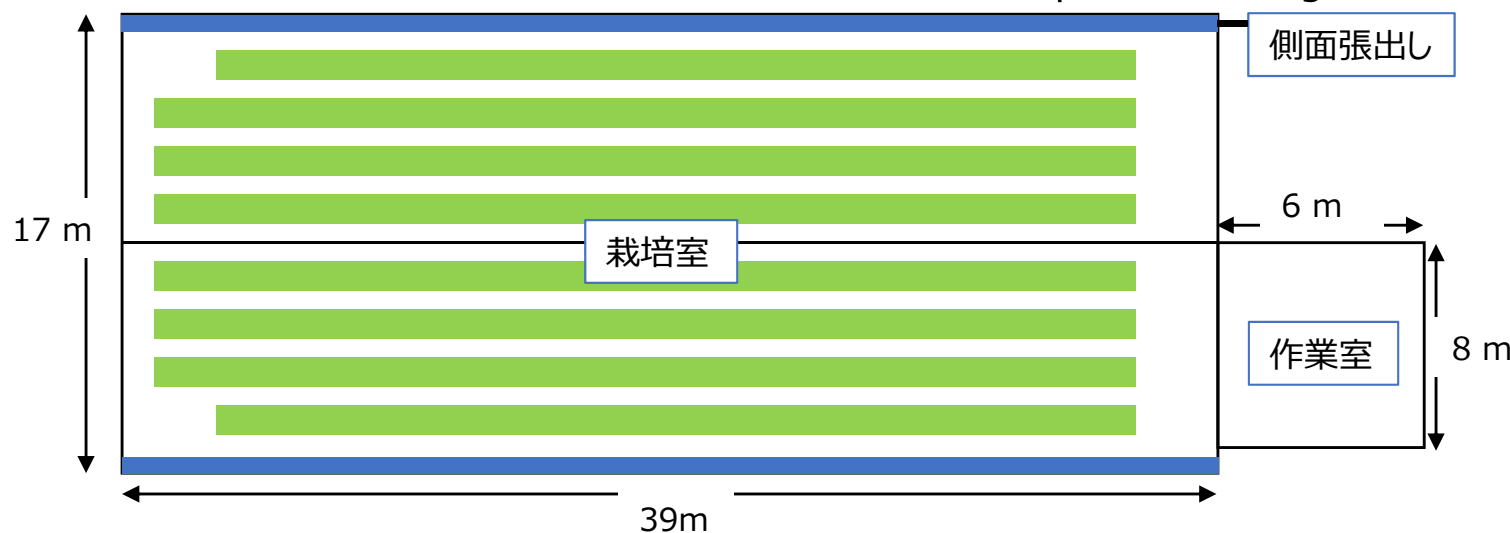
トマトの植栽が無線通信に及ぼす影響

- 植栽が無線通信に及ぼす影響を調べるために、トマトが栽植された南北棟建ての東京ブライthouse®を使用
- 通信試験は、栽培室（寸法：間口 16m、奥行き 39m、側面張出し 0.5m、棟高 4.6m）に429MHz帯、920MHz帯および2.4GHz帯の親機と子機を設置して実施

試験ハウス



Maps Data:Google

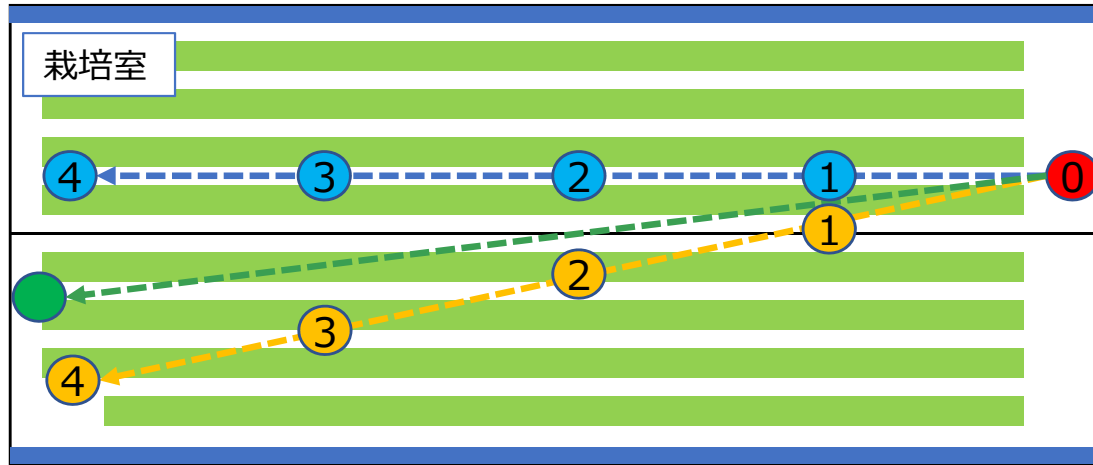


		面積
ハウス全体		711 m ²
内訳	栽培室	624 m ²
	作業室	48 m ²
	側面張出し	39 m ²

通信機器の設置

- 429MHz帯と2.4GHz帯の通信試験では、親機を北側エアコン上部に各1台、子機を植栽なしと植栽ありに各4台を設置
- 920MHz帯の通信試験では、北側エアコンの上部に親機、南側エアコンの上部に子機を各1台を設置

親機と子機の配置



- 植栽ベッド
 - 各通信の親機設置
 - 429MHz帯と2.4GHz帯の子機の植栽なし設置
 - 429MHz帯と2.4GHz帯の子機の植栽あり設置
 - 920MHz帯の子機設置
- ※マーカー内の数字は親機に近い順番を示す

親機と子機の設置場所

	429MHz帯	920MHz帯	2.4GHz帯
親機 設置場所	北側エアコン上部に設置、各1台		
子機 設置場所	親機と子機の間 植栽なし設置、4台	南側エアコン上 部に設置、1台	親機と子機の間 植栽なし設置、4台
	親機と子機の間 植栽あり設置、4台		親機と子機の間 植栽あり設置、4台



子機 親機
920MHz帯



親機 子機
429MHz帯 (右) と 植栽なし設置 植栽あり設置
2.4GHz帯 (左)

- 920MHzの測定では、温度センサで測定した温度データを1分毎に送信し、クラウドサービス（Ambient）を活用してデータ取得
- 429MHz帯と2.4GHz帯の測定では、温度データを10分毎に送信し、クラウドサービス（おんどとり Web Storage）を活用してデータ取得
- 取得データをもとに測定期間における周波数別のデータ転送確度を受信率で示した

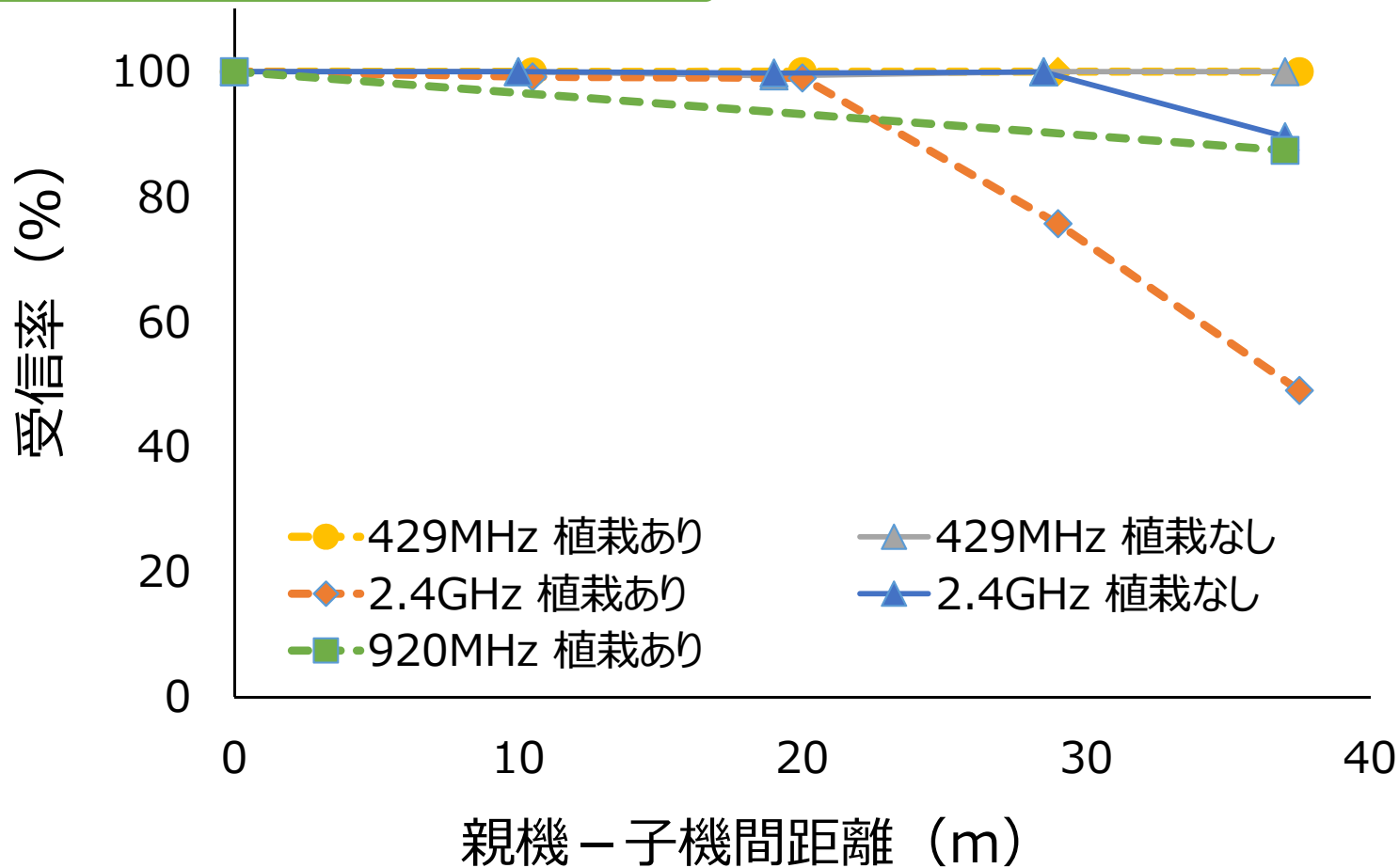
周波数別の調査内容

	920MHz帯	429MHz帯	2.4GHz帯
使用子機	試作子機	おんどとり RTR502B	おんどとり TR-72wb
送信データ	温度センサで測定した温度データ		
データ送信間隔	1分毎にデータ送信	10分毎にデータ送信	
データ取得方法	クラウドサービス（Ambient）を活用しデータ取得	クラウドサービス（おんどとり Web Storage）を活用しデータ取得	
測定期間	2020年3月15日から2020年3月22日	<ul style="list-style-type: none"> ● 2023年6月14日から2023年6月21日 ● 2023年7月13日から2023年7月21日 	
調査項目	受信率（%）：受信成功回数/送信回数×100 受信成功は温度データが読み取れた回数を示す		

無線電波の到達距離

- 429MHz帯の電波は37.5mの距離まで届き、植物による遮蔽の影響は見られなかった
- 920MHz帯の電波は37mまでの距離で植物体の影響により受信率が87.4%まで減少した
- 2.4GHz帯の電波は、親機-子機間に植栽が無い場合で距離28.5mまでは影響なかったが、37mでは受信率が89.6%まで低下した。植栽有の条件では20mまでは影響なかったが、受信率が29mで75.7%、37.5mで49.0%まで低下したことから、2.4GHz帯の利用は20m程度までであることがわかった

周波数別の植生による電波遮蔽程度



植栽なし配置



植栽あり配置

現地実証 多棟ハウス間通信試験（429MHz帯）

- 多棟間にける通信状況と植栽が及ぼす影響を調べるために南北棟建てのハウス8棟と野外雨よけ施設1棟を使用
- 通信試験は、植栽ハウスと無植栽ハウスおよび野外雨よけ施設（寸法下記参照）に親機1台、子機8台を設置して実施

実証ハウス



Maps Data:Google

寸法 (m)	ハウス番号								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	野外
間口	6	6	6	6	6	6	5.4	5.4	3.6
奥行き	34	25	25	27.5	27.5	27.5	18	18	15
棟高さ	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	3.4	3.4	3.5
面積	204m ²	150m ²	150m ²	165m ²	165m ²	165m ²	97.2m ²	97.2m ²	54m ²

- 親機はキュウリを植栽した②番ハウスの角に1台を設置、子機は⑤、⑦および野外では無植栽環境に設置し、それ以外のハウスでは植物群落中央に各1台を設置した。親機と子機間の距離は、直線距離で9m~28mとした

機器の設置図



Maps Data:Google

設置写真



写真内の黄色矢印は親機の設置場所を示す

野外

	ハウス番号								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	野外
親機-子機間距離	9 m	7 m	11 m	17 m	23 m	28 m	18 m	24 m	16 m
栽培品目	ミニトマト	大玉トマト	大玉トマト	キュウリ	無植栽	キュウリ	無植栽	キュウリ	資材置き場



- 子機の温・湿度センサで測定した温度データを5分ごとに送信し、クラウドサービス（おんどとり Web Storage）を活用してデータを取得
- 取得データをもとに測定期間におけるデータ転送確度を受信率で示すとともに電波強度、最大欠測時間、ハウス内外の温・湿度を調査した

調査内容

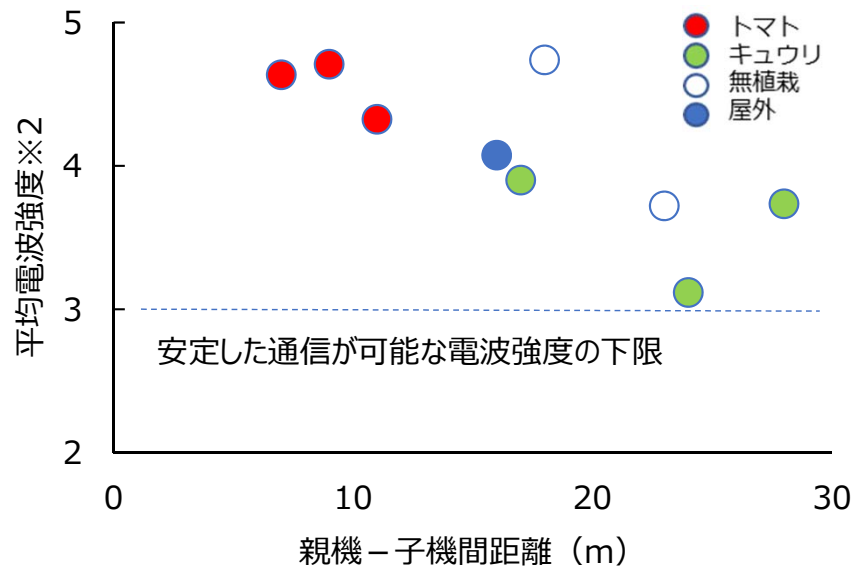
	内容
使用子機	おんどとり RTR503B
送信データ	温・湿度センサで測定した温・湿度データ
データ送信	5分おきに温・湿度データを送信
データ取得	クラウドサービス（おんどとり Web Storage）を活用しデータを取得
測定期間	2023年6月16日から2023年7月9日
調査項目	<ul style="list-style-type: none">● 受信率（%）：受信成功回数/送信回数×100 受信成功はデータが読み取れた回数を示す● 電波強度：ティアンドデイ社での指標値（5段階表記、3以上で通信可、1-2通信が不安定、0通信不可）● 最大欠測時間（分）：測定期間における最大の欠測時間● ハウス内外の温・湿度

- データの受信率は最低でも98.4%であり、多棟ハウスの温・湿度観測には十分な通信品質であった
- 電波強度（ティアンドデイ社の指標値）は全てのハウスで3.1以上を維持しており、通信が可能とされる3を上回っていた
- なお、親機近傍（親機-子機間で17m以内）の①、②、④ハウスに設置した子機においては、一時的に1時間以上の欠測が発生したが原因は不明である

通信品質試験結果

ハウス番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	野外
受信データ回数	6,903	6,906	7,009	6,985	7,013	7,013	7,013	7,013	7,005
データ受信率※ ¹	98.4%	98.5%	99.9%	99.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%
平均電波強度※ ²	4.7	4.6	4.3	3.9	3.7	3.7	4.7	3.1	4.1
最大欠測継続時間（分）	150	105	5	60	0	0	0	0	10

親機-子機間距離と電波強度の関係



- ※¹ 総送信回数7,013回の内、受信できた回数の割合
 ※² ティアンドデイ社での指標値（5段階表記、**3以上で通信可**、1-2通信が不安定、0通信不可）

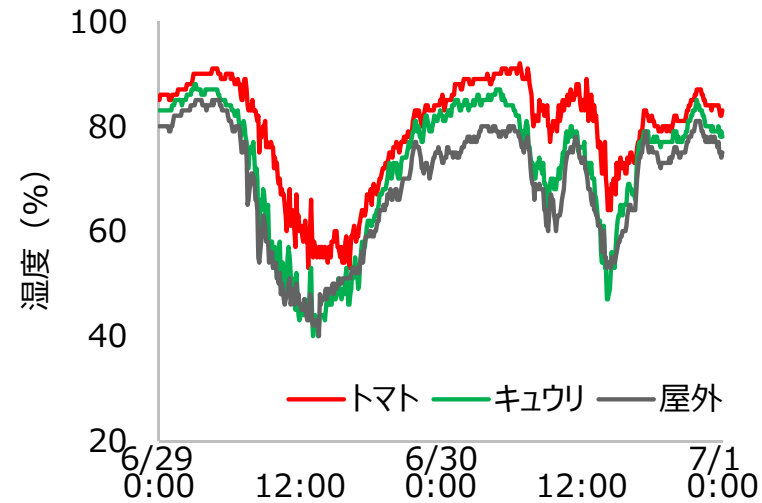
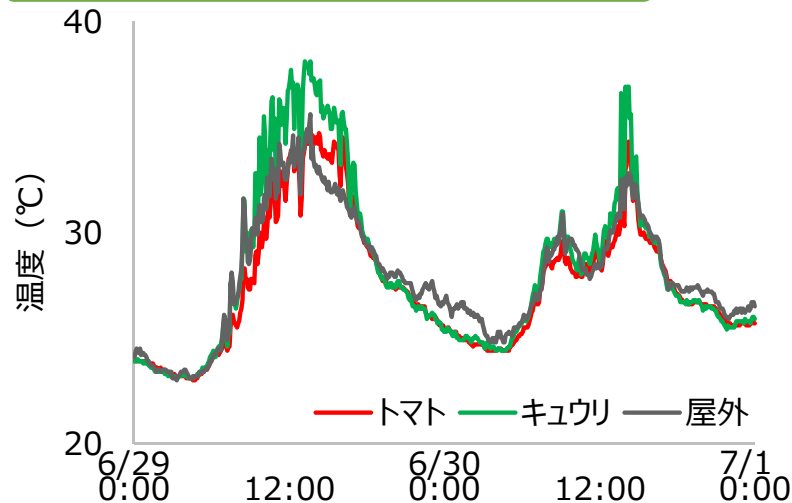
温・湿度の測定

- ハウス内外の温・湿度は、トマト（①～③）で温度16.8℃～42.1℃、湿度26%～99%、キュウリ（④,⑥,⑧）で温度16.5℃～40.7℃、湿度28%～98%、無植栽（⑤,⑦）で温度16.1℃～53.1℃、湿度18%～98%、屋外（野外）で温度16.8℃～37.4℃、湿度28%～95%と推移し、多棟ハウスの温・湿度モニタリングが実施出来た

ハウス内外温・湿度測定結果

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	野外
温度 (℃)	平均	27.1	26.5	26.0	26.2	29.0	26.4	28.9	26.8	26.3
	最高	42.1	39.8	36.6	38.0	53.1	40.3	50.3	40.7	37.4
	最低	17.2	16.8	16.9	16.6	16.9	16.5	16.1	16.6	16.8
湿度 (%)	平均	72.2	69.2	77.1	71.4	61.3	71.8	63.8	68.7	65.7
	最高	98.0	95.0	99.0	97.0	95.0	98.0	98.0	96.0	95.0
	最低	32.0	26.0	26.0	32.0	18.0	32.0	18.0	28.0	28.0

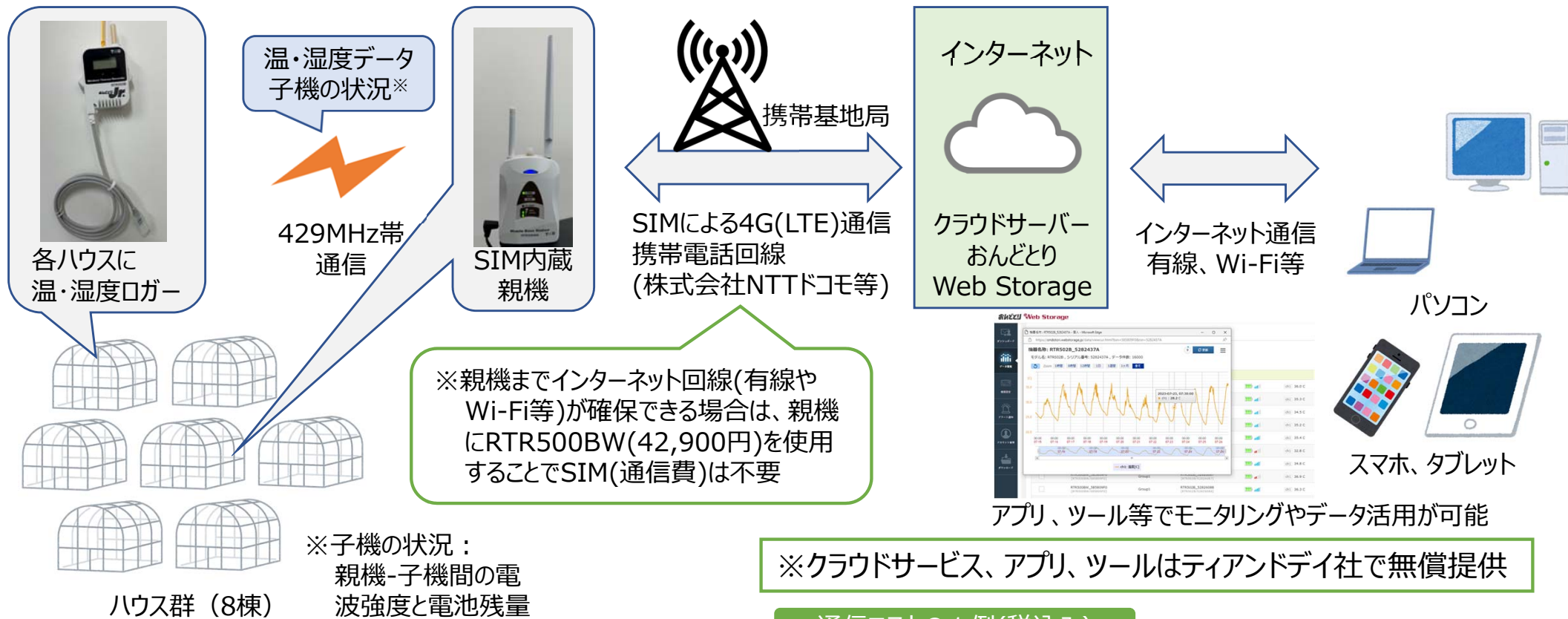
取得した温・湿度データの1例



6/29夜から7/1にかけては、降雨を伴う不安定な天候であった

実証モデルを基にした多棟ハウス見える化の費用

- 多棟ハウスの見える化には、機器コストは8棟分で約27万円、通信コストは月額1,000円弱の費用が必要である



※クラウドサービス、アプリ、ツールはティアンドデイ社で無償提供

通信コストの1例(税込み)

機器コスト(税込み)

	子機	親機	8棟分のコスト
機種名	RTR503B	RTR500BM	27,280×8+51,700 =269,940
価格	27,280	51,700	

プラン名	通信費	備考
SRACOM plan-D D-300MB	330円/月 300MBまで	初期費用902円 +送料
docomo business IoTプランHS	660円~/月 150MB以降従量制	初期費用3,850円

※これ以外でも主なデータ通信用SIMが利用可能

- 2.4GHz帯 (Wi-Fi) より波長の長い920MHz帯 (LoRaWAN) の電波は、見通しがある条件では親機-子機間が245m離れた場所でも受信率99.9%と十分な長距離通信特性が確認できた。また、親機-子機間が崖下であること、および雑木林を挟んだ見通しが無い320mの距離でも回折特性や植物体の影響を受け難い特性により73.9%の受信率を確保できた。
- 429Mhz帯の電波を使う特定小電力無線は、2.4GHz帯や920MHz帯の電波と比較して、植物による遮蔽の影響が小さく、親機-子機間がハウス対角37.5mの距離でも受信率100%とハウス内で問題無く使用可能なことがわかった。
- 多棟ハウス間の通信において、市販の429MHz帯特定小電力無線式データロガーは、ハウスや植栽の状況に関係なく、親機-子機間28mまでは受信率100%、電波強度もティアンドデイ社の基準で良好な通信が可能とする3.1以上を確保できた。今回の実証試験圃場である多棟ハウス (8棟) の圃場において、十分な実用性があり、見える化には約27万円であった。
- なお、今回の試験では親機近傍での通信において原因不明のデータ欠測が生じたが、発生率は最大でも1.6%と軽微であった。より確実性を求める場合は機器の配置に距離を取る等の対策が有効と考える。

