

平成28年度 委託プロジェクト研究
「地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発」
最終年度報告書

14526683

施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発

研究実施期間	平成26年度～平成28年度（3年間）
代表機関	国立大学法人 岐阜大学
研究開発責任者	嶋津 光鑑
共同研究機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
	奈良県農業研究開発センター
	フタバ産業株式会社
	国立大学法人 東京大学
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
	三井造船株式会社
	国立大学法人 静岡大学
	福岡県農林業総合試験場
普及・実用化支援組織	
研究開発責任者 連絡先	TEL : 058-293-2885 FAX : 058-293-2885 E-mail : tshimazu@gifu-u.ac.jp

様式3. 最終年度報告書

2頁～ 29頁

<様式3. 平成28年度の最終年度報告書>

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度				担当研究機関・研究室	
	26	27	28		機関	研究室
1. 施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発 (1) バイオマスボイラーによる施設暖房利用技術の開発 (2) 木質資材を活用した園芸施設の暖房技術の検証		技術の開発 装置の開発			農研機構 中央農業研究センター 農研機構 野菜花き研究部門	バイオマス利用グループ 施設生産ユニット 施設工学ユニット 施設環境ユニット
		技術の開発 栽培実証				
2. CO ₂ 吸脱着剤利用によるCO ₂ 貯留・供給システムの開発 (1) CO ₂ 貯留・供給装置の開発 (2) CO ₂ 吸脱着剤の研究開発 (3) CO ₂ 貯留・供給装置の実用性評価		装置の開発			フタバ産業(株) 産業技術総合研究所 奈良県農業研究開発センター	事業企画部 性能開発部 地圏化学研究グループ 育種科
		資材の探索				
		栽培実証				
3. 施設園芸におけるCO ₂ ハイドレート利用技術の開発 (1) ハイドレート型CO ₂ 回収利用装置の設計及び提案システムのエネルギー最適稼働システムの評価 (2) ハイドレートのCO ₂ 捕集性能及び貯蔵量に関するデータの取得及び改良手法の検討 (3) ハイドレート化によるCO ₂ 回収性能の確認 (4) CO ₂ ハイドレートを利用した施設栽培技術の検証		システムの開発			東京大学	大学院工学系 研究科
		装置の開発				
		装置の開発			産業技術総合研究所 三井造船(株)	メタンハイドレートプロジェクトユニット 技術開発本部
		栽培実証				
4. 施設園芸における効率的なCO ₂ 施用技術の開発 (1) 養分吸収効率から					農研機構 野菜花き研究部門 静岡大学	生産ユニット 施設工学ユニット 施設環境ユニット 野菜園芸研究室

みたCO ₂ 施用効果の最適化 (2) 半開放系におけるCO ₂ の施用方法及びCO ₂ 収支解析法の確立 (3) 局所保温とCO ₂ 吸脱着システムによる促成ナス収益性改善の実証	技術の開発		栽培実証	岐阜大学 福岡県農林業総合試験場	植物環境制御学研究室 筑後分場野菜チーム
	技術の開発				

I-2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	岐阜大学 応用生物科学部	植物環境制御学研究室	嶋津 光鑑 ◎
1. 施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発			
(1) バイオマスボイラーによる施設暖房利用技術の開発	農研機構 中央農業研究センター	バイオマス利用グループ	薬師堂 謙一 ○ 小林有一、塚本隆行 (～2016.3) 竹倉 憲弘 (2016.4～)
(2) 木質資材を活用した園芸施設の暖房技術の検証	農研機構 野菜花き研究部門	施設生産ユニット 生産工学ユニット 生産環境ユニット	安 東 赫 岩崎 泰永 梅田 大樹 中野 明正 △
2. CO ₂ 吸脱着剤利用によるCO ₂ 貯留・供給システムの開発			
(1) CO ₂ 貯留・供給装置の開発	フタバ産業(株)	事業企画部	丹羽 祐二 △ 斉藤 隆
(2) CO ₂ 吸脱着剤の研究開発	産業技術総合研究所	地圏化学研究グループ	鈴木 正哉 △
(3) CO ₂ 貯留・供給装置の実用性評価	奈良県農業研究開発センター	育種科	西本 登志 ○
3. 施設園芸におけるCO ₂ ハイドレート利用技術の開発			
(1) ハイドレート型CO ₂ 回収利用装置の設計及び提案システムのエネルギー最適稼働システムの評価	東京大学大学院	工学系研究科	松尾 誠治 ○
(2) ハイドレートのCO ₂ 捕集性能及び貯蔵量に	産業総合研究所	メタンハイドレート研究センター	山本 佳孝 △ 室町 実大

関するデータの取得及び改良手法の検討 (3) ハイドレート化によるCO ₂ 回収性能の確認	三井造船(株)	技術開発センター 技術開発本部	村山 哲郎 △ 三町 博子 木下 貴博 伊藤 真人 (～2016.1)
(4) CO ₂ ハイドレートを利用した施設栽培技術の検証	農研機構 野菜花き研究部門	施設生産ユニット 生産工学ユニット 生産環境ユニット	安 東 赫 岩崎 泰永 △ 梅田 大樹 中野 明正
4. 施設園芸における効率的なCO ₂ 施用技術の開発			
(1) 養分吸収効率からみたCO ₂ 施用効果の最適化	静岡大学 農学研究科	野菜園芸研究室	鈴木 克己 ○
(2) 半開放系におけるCO ₂ の施用法及びCO ₂ 収支解析法の確立	岐阜大学 応用生物科学部	植物環境制御学研究室	嶋津 光鑑 ◎
(3) 局所保温とCO ₂ 吸脱着システムによる促成ナス収益性改善の実証	福岡県農林業総合試験場	筑後分場 野菜チーム	古賀 武 △

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

中課題番号	14526683	研究期間	平成26～28年度
大課題名	地域資源を活用した再生エネルギー等の利活用技術の開発		
中課題名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発		
代表機関・研究開発責任者名	国立大学法人 岐阜大学 嶋津光鑑		

I-1. 研究目的

わが国農業は、化石燃料に大きく依存しているため、卓越した先端的環境エネルギー技術により、エネルギー需給の効率化と燃料転換を図ることが重要である。また、農山漁村において、現在、多くが未利用となっている中・低温の熱エネルギーを施設園芸等で効率的に利用する技術を開発することにより、エネルギー自給型の農業を確立することが必要である。

そこで、「施設園芸における熱エネルギーの効率的な利活用技術の開発（熱プロ）」（平成25～27年度）を拡充し、施設園芸に用いられる木質バイオマス等を燃料とする加温機から発生するCO₂を有効利用し、作物の収量を増加させるための低コストなCO₂貯留・供給装置及び効果的なCO₂施用技術を開発することとした。

このため、本研究では、

1. 施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発
2. CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発
3. 施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発
4. 施設園芸における効率的なCO₂施用技術の開発

により、作物の収量を10%以上増加させ、経営収支向上に資することを目標とする。

その結果、熱プロの成果と併せて、

1. 農家には燃油使用量の半減、収量の増加等による経営収支の向上で燃油価格の影響を受けにくい農業経営の確立
2. 社会経済的には燃油使用量半減による排出されるCO₂排出量の半減、地域エネルギーの利用による地域活性化、自立分散型エネルギー供給体制の確立

が期待される。

I - 2. 研究結果

(1) 施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発

既存の木質ペレット用暖房機の燃焼性能や化石系エネルギーの代替効果、CO₂ガスの利用への適用性等を明らかにするとともに、木質チップや作物残渣等の固形燃料化技術、並びに、低コストの木質チップ燃料等を利用できるロータリーキルン式バーナーによる燃焼・利用技術を開発し、施設園芸への適用効果を明らかにした。

バイオマスボイラーによる施設暖房利用技術の開発に関して、木質ペレットよりも安価な木質切削チップを温室の暖房燃料として利用できる供給機を開発し、暖房コストを石油換算で20円/L 節減した。また、ロータリーキルンバーナーの通風条件を調節して燃焼時のCO発生量を低減する燃焼方式を明らかにした。また、放熱部の運転制御を改良し、熱効率は化石燃料並みの85%を実現した。

木質資材を活用した園芸施設の暖房技術の検証に関して、栽培温室において、慣行のガス燃焼式暖房機とバイオマスボイラーのハイブリッド運転の実証試験を実施し、外気温が低下してもハイブリッド運転は必要燃料熱量の変化が緩慢であることを明らかにした。その結果、ハイブリッド運転では、バイオマスボイラーを温室の暖房負荷よりも供給熱量が低い運転モードに設定し、不足分の熱量をガス暖房機から供給すれば、設定気温に必要な熱量より過剰な燃焼を抑制し、ガス燃焼式暖房機のみでの運転時よりも熱効率が十分に向上できた。

(2) CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発

燃油加温機の排気を回収して、施用CO₂ガスとして利用するCO₂貯留・供給装置を開発し、園芸施設内で安全に使用できることを確認した。CO₂吸脱着剤である活性炭のCO₂吸着能は500回以上の水蒸気の吸脱着を繰り返しても低下しないことを明らかにした。一方、小型バイオマス加温機の排気には高濃度で、かつ濃度が安定せず、容易に除去できないCOが含まれるために、貯留・供給装置を装備するのは困難であった。

(3) 施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発

燃油加温機の排気に含まれるCO₂を濃縮し、ハイドレートに貯留し、必要に応じて園芸施設で栽培する作物に利用する装置を開発し、園芸施設において稼働させ、性能評価を行った。装置はハイドレート生成に当たり低温高压が必要な通常ハイドレート型と常温常圧付近の環境でハイドレート生成可能なセミクラスレートハイドレート型の2種類を開発した。開発に当たり、基礎的知見を得るためのラボレベル装置の作成、種々の水溶液毎のハイドレート生成能力等の解明、また、排ガスに含まれるCO₂の濃縮装置の開発等を行った。性能評価したところ、実装に向けての可能性が見出せた。

(4) 施設園芸における効率的なCO₂施用技術の開発

CO₂利用効率の高いCO₂施用をするには温室内のCO₂濃度分布の把握が重要であるので、NaOH水溶液を利用したCO₂濃度分布の簡易推定法を開発した。また、半開放型温室では、緩やかに均一にガス拡散する多孔質ゴム製チューブを選択し、それを日射の受光率が高い群落近傍に設置してゼロ濃度差施用法で局所CO₂施用した。その結果、供給したCO₂ガスが屋外に漏れないように（換気窓付近のCO₂濃度が上昇しない）管理できた。

供給CO₂ガスに対する植物群落のCO₂固定量を評価するには、CO₂収支式から温室あたりの純

光合成速度を算定する必要があるため、その式に含まれる換気率を熱収支法から求めた。この方法で求めた純光合成速度と、光合成蒸散測定装置で測定した値を比較したところ、おおむね一致し、CO₂収支式より純光合成速度を算定する方法の有効性を示せた。

トマトのCO₂施用効果を高めるためにシンクソースバランスに着目し、着果・肥大させる果実数を増やし、さらに肥料成分としてP、Kを多めとする処方を適用することが有効であることを示した。

ナス栽培において、CO₂貯留・供給システム、局所加温技術（茎保温器）及び日中加温技術を組み合わせた結果、12～1月の収量が無処理区と比較して36%増加し、収量増20%以上の目標達成が見込まれる。

I-3. 今後の課題

(1) 施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発

化石燃料からバイオマス燃料への更なる代替率の向上やバイオマス燃料の効率的な利用のためには、燃焼速度の調節が可能なバイオマス暖房機の開発と外部気象条件に応じた制御が可能なシステムの構築（例えば、制御が容易な温湯による暖房システム）が必要である。

(2) CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発

—

(3) 施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発

今後は、開発した技術の実装に向け、セミクラスレートハイドレートによるCO₂分離回収の効率アップ、総合的なシステム評価、スケールメリットを考慮したフィージビリティスタディを行い、ガスハイドレート/セミクラスレートハイドレートそれぞれの特徴を活かしたシステムの構築を目指す。

開発した技術は、農業現場で発生したCO₂のみならず、他産業から発生するCO₂の有効利用にも活用できる。特に、他産業におけるCO₂排出現場においては、余熱などの未利用エネルギーをハイドレート生成時の温度・圧力に利用することも可能であることから、今後排ガスや環境の特性を考慮した低コストなCO₂の回収及びCO₂回収場所から離れた園芸施設への輸送方法等について検討が必要。

(4) 施設園芸における効率的なCO₂施用技術の開発

CO₂施用時の培養液組成が今回提案したもので適切であるかの生産現場での実証試験、植物体のCO₂固定速度とCO₂供給速度の収支がつりあうように管理するための制御方法と経済評価、より正確な値を示す簡易測定法の検討が必要。

提案した温室内作物群落全体の光合成速度推定法の汎用性を評価するために、さまざまな気象条件におけるCO₂収支法による半開放温室（換気窓が開放された状態）の光合成速度の連続測定試験、CO₂収支解析に用いるCO₂測定地点について追試験を実施する。

日中加温+CO₂施用+局所保温技術については、栽培期間終了（H29年6月）後、総合的な経営評価を行う。また、増収に効果的で施用ロスが少ないCO₂施用濃度の検討およびハウス内気温を緩やかに上昇させる日中加温設定温度の検討が必要。

中課題番号	14526683	研究期間	平成26～28年度
小課題番号	1	研究期間	平成26～28年度
中課題名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発		
小課題名	施設暖房における農林バイオマスの有効利用技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	薬師堂謙一・農研機構中央農業研究センター		

1) 研究目的

施設園芸では化石エネルギーに依存した暖房が実施されている。今後、さらなる燃油価格の高騰も懸念されるため、バイオマスを利用したボイラーの施設園芸への適用が求められている。本研究では、既存の木質ペレット用暖房機の燃焼性能や化石系エネルギーの代替効果、ボイラーの排気ガス中の炭酸ガスの利用性等を明らかにするとともに、木質チップや作物残さ等の固形燃料化技術、並びに、低コストの木質チップ燃料等を利用できるロータリーキルン式バーナーによる燃焼・利用技術を開発し、施設園芸への適用効果を明らかにする。

2) 研究成果

(1) バイオマスボイラーによる施設暖房利用技術の開発に関しては、

①木質ペレットより安価な木質切削チップを施設園芸の暖房燃料とするため、25mm角篩で選別したチップを定量供給できる供給機を開発した(図1-1)。木質ペレットを木質チップに変更することにより暖房コストを石油換算で20円/L節減することができる。また、木質ペレットと木質チップを燃焼能力116kWのロータリーキルン式バーナーで通風条件を変えて燃焼試験を行い、排ガス中のCOの発生量を低減する燃焼方式を明らかにした(表1-1)。燃焼温度は800～1,000℃と化石系バーナーと同様の値が得られた。このバーナーを核に、温水熱交換器、温水タンク、ラジエーター式の放熱器を組み合わせた暖房システムを構築した(図1-2)。



図1-1 木質バイオマス用定量供給機

熱交換器内の温度による貯湯制御、温湯タンク下部の温度による燃焼量制御、ハウス内温度による放熱器の運転制御法を明らかにした。加温試験の結果、43.5kgの木質バイオマスで約2.5tの18℃の水を3.5時間で81℃まで昇温できた。バーナー出口温度は700℃から800℃に上昇し安定し、排気温度は150℃以下、熱効率は化石系燃料並みの85%程度と推定された。暖房試験を行う高軒ハウス(トマト)は暖房用都市ガスの消費量から約2000MJ/日の暖房負

荷がかかっており、開発した暖房システムで14時間暖房（午後5時～午前7時）を行うとほぼ代替できると試算された。

実際の植物工場での暖房試験の結果を図1-3～5に示す。16時に着火し、16時

30分より施設暖房を開始、間欠運転で暖房を行い、20時15分に温水タンク内温度が85℃を超えたためバーナーを消火、その後3時頃まで間欠運転、徐々にタンク内温度が低下し、3時から連続運転となり、4時頃から化石系バーナーとの併用運転となった。ラジエーター部での温水の温度降下は20～35℃であり、積算の放熱量は約850MJとなった。試験当時は気温が比較的高かったため、16時から4時間15分という短時間で温水タンク内水温が85℃になり20時で燃焼が停止したが、タンク内水温が85℃に達するまでの運転時間を長くできればバイオマスバーナーの燃焼量が増加するため、化石系燃料に対する代替率が向上すると考えられる。

②作物残さの燃料化では、トマトの残さを飼料用カッターの切断寸法24mmで細断し、70℃で通風乾燥後、下網φ6mmのカッターミルで破碎し、ローラー・ディスクダイ式成形機でペレット状に成型した。残さの発熱量は木質の67～74%と低いが着火性は悪くなかった（表1-2）。なお、トマト剪定枝をペレット状に加工し電気炉行った熔融試験では、750℃で熔融し、

表 1-1 ロータリーキルン式バーナーにおける燃焼条件別の燃焼温度と排ガス成分

材料	実験	材料供給 kg/h	中心部流量 (m ³ N/h)	側壁流量 (m ³ N/h)	合計流量 (m ³ N/h)	材料表面燃焼温度 (°C)	燃焼温度 (内筒から 20cm) (°C)	燃焼温度 (内筒から 55cm) (°C)	O ₂ 濃度 (%)	CO濃度 (ppm)	O ₂ =6%換算 NOx濃度 (ppm)	O ₂ =6%換算 SOx濃度 (ppm)
木ペレット	①	25.60	50.8	118.8	167.7	1227	1013	915	4.5	266	93	4
	②	25.60	83.4	90.6	171.5	1219	1054	991	5.3	522	84	0
	③	25.60	83.7	121.4	191.4	1229	1075	1021	7.3	18	95	1
	④	25.60	125.0	122.2	221.0	1184	1031	979	8.4	10	97	0
	⑤	19.20	81.5	121.8	202.0	1224	983	937	9.9	3	112	0
	⑥	12.97	81.6	90.1	169.6	1060	835	792	13.3	8	107	0
木チップ	⑦	14.63	42.3	94.4	136.8	1107	752	674	11.8	126	111	0
	⑧	21.00	70.9	101.6	172.5	1069	889	800	11.4	10	79	0
	⑨	21.00	42.6	94.0	136.6	1150	971	875	8.5	12	94	0
	⑩	25.50	74.1	132.7	206.8	1121	932	855	8.9	28	93	0



図 1-2 木質バイオマス用温湯式暖房システム

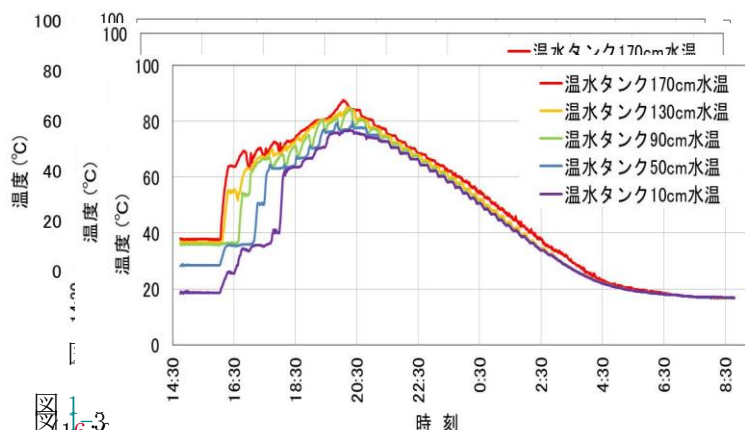


図 1-3 温水タンク内の温度変化 (16:00 着火、20:15 消火、その後温水タンクの放熱で水温低下)

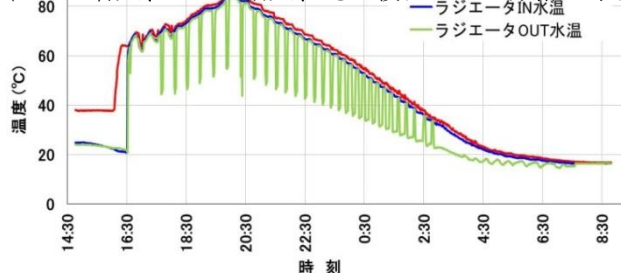


図 1-4 ラジエーター温度及び貯湯タンク上部温度の変化

Ca添加による
 熔融温度上昇
 効果が認めら
 れなかったた
 め、700℃以下
 で燃焼するペ
 レット暖房機
 を使用する必
 要のあること

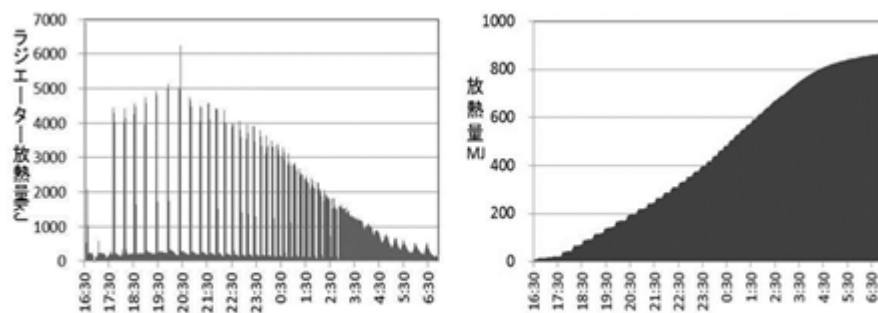


図 1-5 ラジエーターからの放熱量（左：時刻別、右：積算）

が分かった。なお、
 作物残さの燃料化に
 は乾燥に発熱量以上
 の熱量を必要とする
 ため、技術導入条件
 として、煙突廃熱な
 どの廃熱が十分入手
 できる場面に限られると
 考えられる。

表 1-2 各種サンプルの燃料特性

	灰分	かさ密度	発熱量	発煙まで	消煙までの
	(%d. b.)	(g/L)	(MJ/kg)	の時間(s)	時間(s)
木質ペレット	0.3	623	20.6	87	214
木チップ	0.5	128	20.6	30	75
竹チップ	2.3	250	17.8	59	190
残さペレット1	24.5	331	13.8	59	215
残さペレット2	23.4	559	15.2	105	291

③市販の100kW級木質ペレット暖房機の排ガス成分を測定した結果、機種により排ガス中のCO濃度が大きく異なることが明らかとなった(図1-6)。A社製はCO₂が9-12%、安定燃焼時のCOが30-60ppm、NO_xが100-130ppmでSO_xは検出されなかった。燃焼開始時と燃焼停止時にCOが1000ppmを超えるので、CO₂吸脱着装置に接続するには自動流路切替えとCOの酸化触媒装置が必要になると判断された(図1-6の左)。一方、B社製は安定燃焼中でも排ガス中のCO濃度が500ppmを下回ることがなく、CO₂利用には適さないことが分かった(図1-6の右)。このため、木質ペレット暖房機の排ガスからCO₂利用する場合は、事前に必ず排ガス成分測定を実施しなければならない。

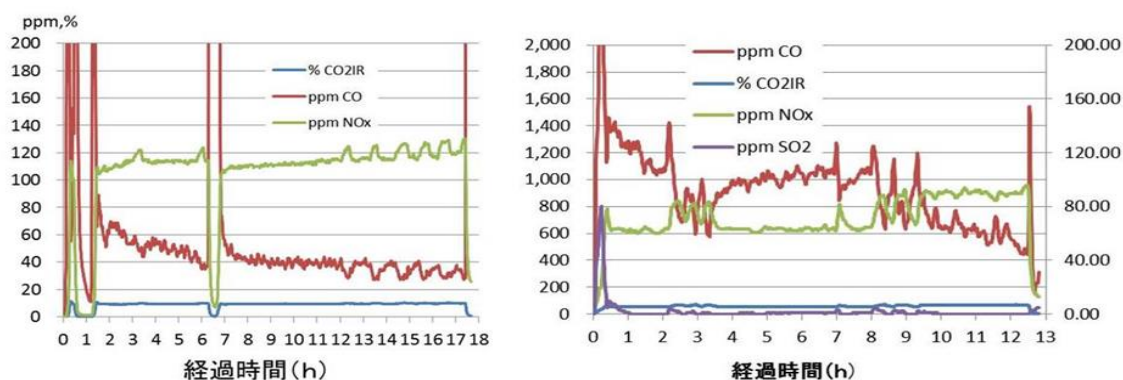


図 1-6 木質ペレット暖房機の排ガス成分（左：A社製、右：B社製）
 右図：CO濃度のみ左軸、その他は右軸

(2) 木質資材を活用した園芸施設の暖房技術の検証に関しては、
 農研機構つくば拠点の約117㎡のトマト栽培ハウス2棟を用い、1棟には木質ペレット及びガス燃焼式暖房機を設置し、ハイブリッド運転を、もう1棟にはガス燃焼式暖房機のみを運転

とし、燃焼実験を行った(図1-7)。

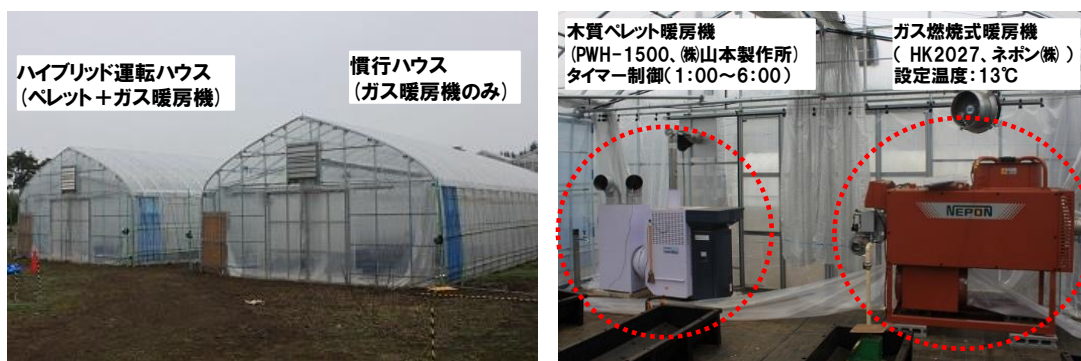


図1-7 実験ハウスの外観風景及および使用した暖房機

まず、ペレット暖房機の燃焼能力やハウスの暖房負荷、燃焼時のペレットの熱量(16.7 MJ/kg)を明らかにした。次に、ペレット暖房機の運転モード毎に燃焼実験を行った結果、外気温が低下すると、燃焼熱量は直線的に増加するが、ガス暖房機をみの運転に比べて、ペレットとガス暖房機のハイブリッド運転では、傾きが緩慢であり、熱利用効率が上昇することが示唆された(図1-8A)。また、ハイブリッド運転において、運転モード(燃焼速度)ごとのペレットへの代替率と外気温の関係を明らかにした(図1-8B)。図1-8Aから外気温が7°C以上の

場合、燃焼熱量はハイブリッド運転ハウスが慣行ハウスを下回っていることが分かる。これは、暖房負荷が32.5MJ/h以下になると、実験に用いたペレット暖房機では、必要以上のペレットが燃焼されるためであり、外気温に応じた制御の必要性が示唆された。

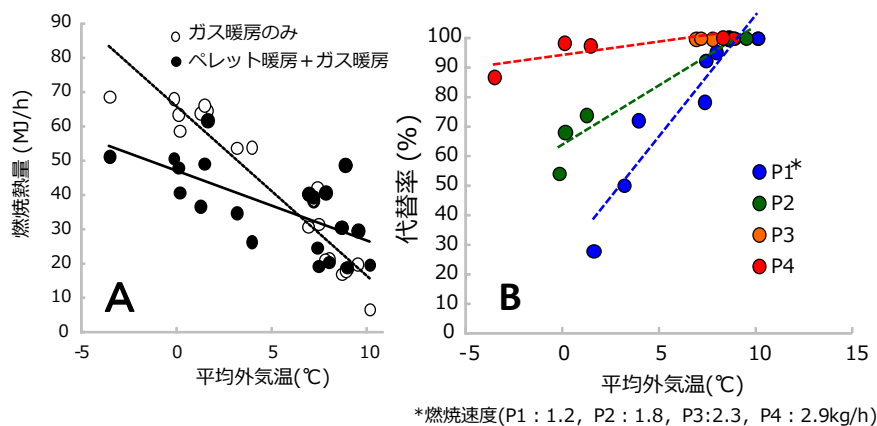


図1-8 運転方法の違いによる外気温と燃焼熱量の関係 (A)及びペレット暖房機の代替率(B)

ガス暖房機をみの運転では、設定温度の13°C以下で燃焼、13°Cを上回ると停止を繰り返すが、ハイブリッド運転は、ペレット暖房機からの熱が加わることでガス暖房機の燃焼頻度が減るとともに、1回の燃焼時間が短くなった。その結果、ハイブリッド運転は、ガス暖房機をみの運転に比べ、室内気温の変動が緩やかで設定値との差が小さく、燃焼熱量も室温を13°Cに維持するための暖房負荷との差が小さくなった(図1-9)。

しかし、ペレット暖房機は、燃焼開始後の制御が困難であるため、暖房負荷を上回る運転モードを選択すると、必要以上の熱量が供給され、大幅な熱の損失が見られた(図1-10)。したがって、暖房負荷より供給熱量が低い運転モードを選択し、足りない熱量をガス暖房機から供給する運転方法が効率的である。さらに、施設の暖房負荷がペレット暖房機の燃焼能力範囲内の場合は、負荷に応じて燃焼速度を制御できれば、ペレット暖房機への代替率やエネルギー削減率の大幅の向上が期待できる。

以上のように、ペレット暖房とガス暖房のハイブリット運転は、ガス暖房のみと比較して熱消費の効率化の可能性が示唆された。さらに、ペレット暖房において暖房負荷に応じた燃焼速度に制御することによって、ペレット暖房機への代替率の大幅の向上とエネルギーの削減が可能である。

以上のように、ペレット暖房とガス暖房のハイブリット運転は、ガス暖房のみと比較して熱消費の効率化の可能性が示唆された。さらに、ペレット暖房において暖房負荷に応じた燃焼速度に制御することによって、ペレット暖房機への代替率の大幅の向上とエネルギーの削減が可能である。

以上のように、ペレット暖房とガス暖房のハイブリット運転は、ガス暖房のみと比較して熱消費の効率化の可能性が示唆された。さらに、ペレット暖房において暖房負荷に応じた燃焼速度に制御することによって、ペレット暖房機への代替率の大幅の向上とエネルギーの削減が可能である。

3) 成果活用における留意点

ロータリーキルン式バーナーを核とした木質バイオマスによる温湯式暖房システムについては、定量供給機や熱交換器、バーナーは注文生産体制となっており、設置する植物工場や園芸施設の規模に応じて発注できる。なお、チップを利用する場合には荷受け装置等を別途整備する必要がある。

作物残渣を燃料化しバイオマス燃料として利用できることを示したが、残渣の乾燥に発熱量以上の熱量が必要であったため、この乾燥処理に他の廃熱を有効利用する等の工夫が必要である。

木質ペレット暖房機の排ガスには、燃焼開始時と燃焼終了時に1,000 ppmを超えるCOが含まれ、機種によっては安定燃焼中にも高濃度のCOが含まれることから、排ガスに含まれるCO₂利用を検討する際は、必ず排ガス成分測定を実施し、利用可能かどうかを見極めることが必要。

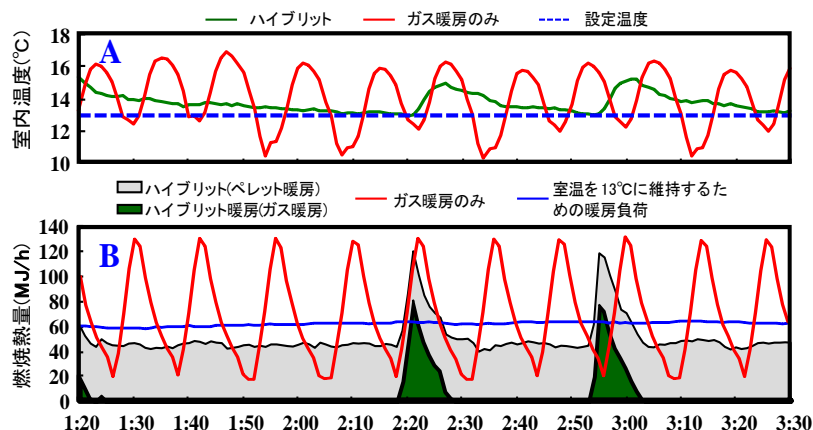


図1-9 暖房運転方法による室内気温の推移(A)及び燃焼熱量(B)の違い

*いずれのハウスもガス暖房機の設定温度は13℃。
*ペレット暖房機の燃焼能力は47 MJ/h。

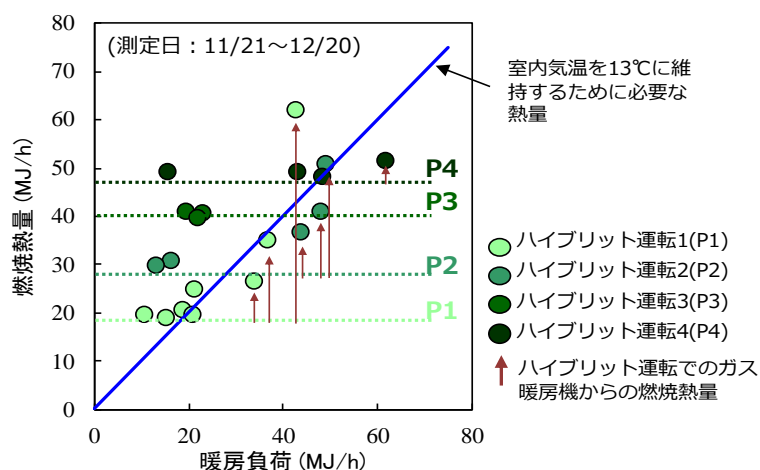


図1-10 燃焼モードによる暖房負荷と燃焼熱量との関係
*実験ハウスの暖房負荷係数は、3.44 kcal/m² hr °C
*P1~P4はペレット暖房機の燃焼モード。

ハイブリッド運転の優位性や制御方法は推察できたが、ハウスの規模や暖房機の燃焼能力によって化石系エネルギーの代替効果が異なるため、まず、使用ハウスの暖房負荷や暖房機の燃焼能力を明らかにした上で制御法を検討する必要がある。

4) 今後の課題

化石燃料からバイオマス燃料への更なる代替率の向上やバイオマス燃料の効率的な利用のためには、燃焼速度の調節が可能な暖房機の開発と外部気象条件に応じた制御が可能なシステムの構築（例えば、制御が容易な温湯による暖房システム）が必要である。

中課題番号	14526683	研究期間	平成26～28年度
小課題番号	2	研究期間	平成26～28年度
中課題名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発		
小課題名	CO ₂ 吸脱着剤利用によるCO ₂ 貯留・供給システムの開発		
小課題責任者名・研究機関	西本登志・奈良県農業研究開発センター		

1) 研究目的

施設園芸における収量増加と品質向上を目的としたCO₂施用では、灯油燃焼式CO₂発生機や液化炭酸ガスボンベが主に用いられている。これに対し、加温機の排気からCO₂を回収貯留し、園芸作物への施用ができれば、CO₂排出総量と燃料費の削減が期待できる。また、貯留された高濃度CO₂を利用すると、効率的な局所CO₂施用も可能となる。そこで、加温機排気中のCO₂を効率よく回収貯留し再利用するための、施設園芸用CO₂貯留・供給装置を開発する。

2) 研究成果

燃油加温機の排気を利用するCO₂貯留・供給装置を開発し、奈良県農業研究開発センター内で試作機（CO₂貯留量3kg、排ガスは灯油由来）による農作物への局所CO₂施用を行った。ハウス内のバラ、シクラメン、イチゴ及びトマトのいずれにおいても、生育障害が認められず、CO₂施用効果が見られること、ハウス内に設置したCOガス警報器はCOガスを検知せず、ミツバチの活動に異常が見られないことを確認し、園芸施設内で安全に使用できることを明らかにした（図2-1～3）。

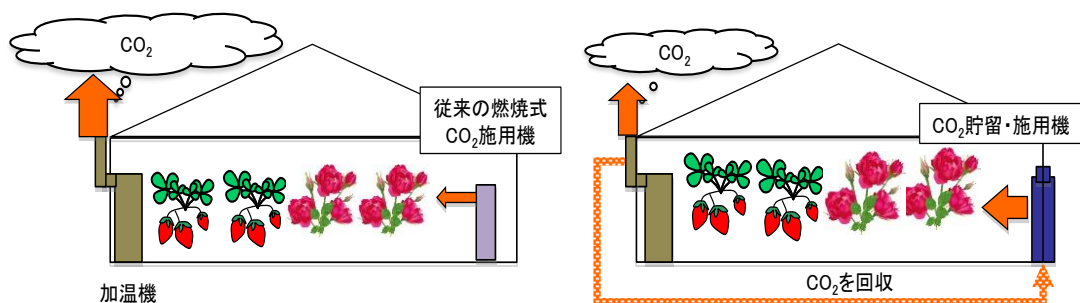


図2-1 従来のCO₂施用法（左）と加温機の排気を利用するCO₂施用法（右）



図2-2 試作機を設置したハウスでの生育の様子（左：バラ、右：イチゴ）

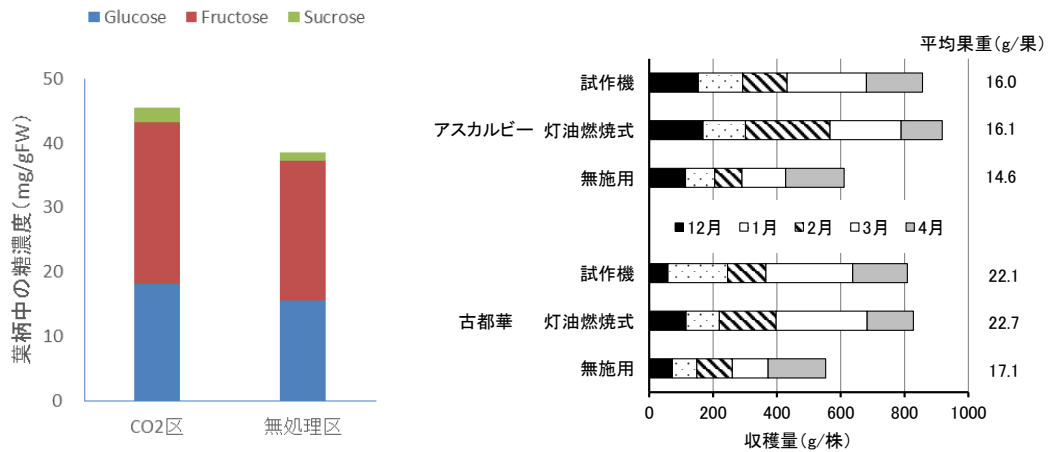


図2-3 試作機を用いた局所施用がシクラメンの葉柄中糖濃度（左）とイチゴの果実収穫量と平均果重（右）に及ぼす影響

※シクラメンでは2014年11月5日～12月3日、イチゴでは2014年12月4日～2015年4月6日に植物体周辺部を450～800ppm程度に維持

その後、貯留量3kgの試作機と貯留量10kgの実証機により、各地で現地実証試験を行い、安定的に稼働することを確認した（図2-4）。



図2-4 現地実証試験の実施状況



図2-5 愛知県幸田町のイチゴ栽培ハウスに設置した実証機（左）とアグリビジネス創出フェアで展示した商品モデル（右）

試作機での使用を前提に、水蒸気が存在する条件下でCO₂の吸脱着が可能な吸脱着剤を探索・選定し、性能評価を行った。10vol%のCO₂ガスを用いた吸脱着試験の結果、3kgのCO₂を貯留・供給するには、最低でも240Lの容器に225kgの活性炭を充填する必要があること、また、水蒸気添加条件下での試験の結果、吸脱着剤として活性炭を用いる場合、水蒸気を除去する必要がないことを明らかにした。10kPaの圧力条件下では、活性炭の違いによるCO₂吸脱着量の差異は大きくないことが分かった（図2-6）。

表2-1の活性炭B、C、FおよびGのように、吸着時：10kPa・脱離時：1kPa（開発中の貯留・供給装置に相当する条件）でCO₂吸脱着量が多く、嵩密度の大きいヤシ殻活性炭が見出された。

温度25℃相対湿度70%と温度60℃相対湿度11%の条件（それぞれ、水蒸気を十分に吸着あるいは脱着させる条件）において、水蒸気を繰り返し吸脱着させる試験を行い、540回水蒸気を吸脱着させても、CO₂の吸着量にほとんど変化のないことを確認した（図2-7）。

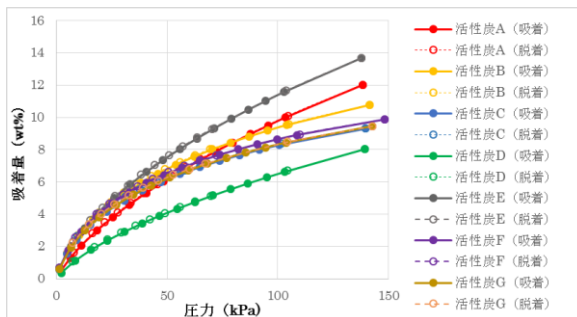


図2-6 活性炭のCO₂吸着等温線

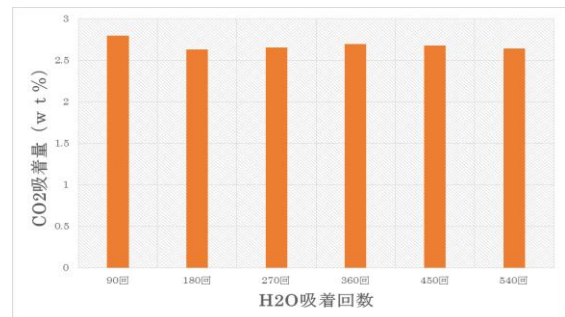


図2-7 水蒸気の吸脱着の繰り返しによる活性炭のCO₂吸脱着性能評価

表2-1 活性炭のCO₂吸脱着量、粒子径、形状および嵩密度

吸着剤名	原料	吸脱着量 (cc/g)	吸脱着量 (wt%)	粒子径 (mm)	形状	嵩密度 (g/cm ³)
活性炭A	ヤシ殻	9.61	1.86	5×φ4	円柱	0.42
活性炭B	ヤシ殻	13.69	2.65	7×φ4	円柱	0.60
活性炭C	ヤシ殻	13.06	2.53	3×φ1	円柱	0.70
活性炭D	石炭	6.48	1.26	10×φ4	円柱	0.48
活性炭E	ヤシ殻	13.56	2.63	3×5×1	フレーク	0.48
活性炭F	ヤシ殻	13.85	2.69	4×φ1	円柱	0.63
活性炭G	ヤシ殻	12.97	2.51	3×φ1	円柱	0.65
合成ゼオライト	—	39.11	7.58	φ4	球	0.72

カーボンニュートラルな木質バイオマスを燃料とする加温機由来の排ガスをを用いてCO₂吸脱着を行い、CO₂施用できれば、よりCO₂排出削減につながることから、木質バイオマス加温機の排気ガスの性状を確認した。前の小課題では、100Kw級大型バイオマス加温機の排ガスは機種により、含まれるCO濃度が大きく異なり、安定燃焼中でも高濃度な機種があったが、調査した小型バイオマス加温機の排気に含まれるCOも、高濃度で、かつ濃度が安定せず、バイオマス加温機の抜本的な改良や高価な触媒を用いたCO除去等の対策が必要であり、市販のバイオマス加温機に開発した装置を装備するのは困難であることが明らかとなった(図2-8)。

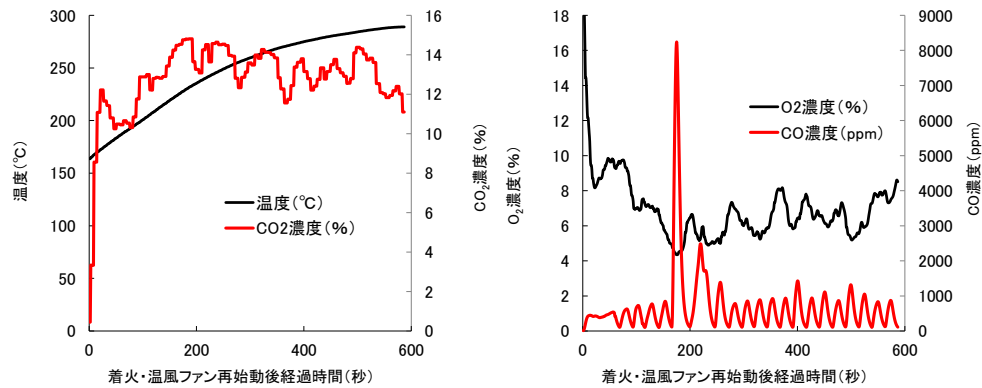


図2-8 小型ペレット温風暖房機 (PWH-1500) の排気のガス成分
燃料：上伊那森林組合製「ピュア1号」 分析機器：testo350

3) 成果活用における留意点

本研究で開発したCO₂貯留・供給装置は、排ガス中のCO濃度が人体に影響を及ぼすレベルの不完全燃焼が激しい加温機には装備できない。装備を検討する際には、加温機の排ガス成分を必ず確認すること。

4) 今後の課題

中課題番号	14526683	研究期間	平成26～28年度
小課題番号	3	研究期間	平成26～28年度
中課題名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発		
小課題名	施設園芸におけるCO ₂ ハイドレート利用技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	松尾誠治・東京大学大学院		

1) 研究目的

施設園芸では、石油やバイオマス等の燃焼系暖房からCO₂ガスが発生する時間帯（夜間）と、植物の光合成によってCO₂が消費される時間帯（日中）にタイムラグがあるため、暖房で発生したCO₂ガスを有効利用するには排出されたCO₂を回収・貯蔵するシステムが必要となる。ここでは、その新たな手法としてハイドレート技術を用いた回収・貯蔵法の実用化に向けた可能性を検証する。なお、バイオマスボイラーの排ガスは、比較的CO₂濃度が低いため、「添加剤によりハイドレート生成条件の緩和を考慮したセミクラスレートハイドレート」と「大幅に多い回収量が期待できる通常ハイドレート」の2手法によるCO₂回収・貯蔵を検討する。この技術により、園芸施設からのCO₂排出量及びCO₂施用にかかるコストが削減されると同時に作物収量の増加が期待できる。

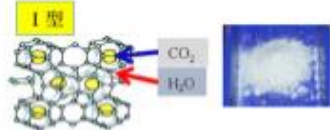
2) 研究成果

ハイドレート技術を用いたCO₂分離回収装置（以下、分離装置）の概要を図3-1に示す。このシステムでは、まずボイラーの排ガスを濃縮装置に導入し、冷却、未反応ガスの除去、そして、CO₂のある程度の濃縮（50%以上）を行う。次に、濃縮したCO₂ガスをコンプレッサーにより昇圧し、CO₂ハイドレートを生成する反応器内に圧入する。そこで、温度圧力条件を調整しハイドレート化してCO₂を分離回収する。CO₂を利用する際は温度条件を変更しハイドレートを分解させCO₂を放出する。

【用語説明】

◆CO₂ハイドレート
CO₂ハイドレートは、水分子が作る籠型構造（クラスレート）の中にゲストガス分子であるCO₂を取り込んだ構造をもつ水和物（ハイドレート）。

◆ハイドレートの特徴
 <ガス包蔵性、貯蔵性>:
 1m³のハイドレートに約170m³のガスと0.8m³の水を貯蔵する。
 また、自己保存効果により約-15℃で輸送が可能。
 <反応選択性>
 ハイドレート化するガス分子の種類により平衡圧力・温度が異なるため、混合ガスから特定のガスを分離回収可能。
 <取り扱いが容易>
 分解時はバルブ開閉のみでCO₂施用が可能。



CO₂ハイドレート結晶構造

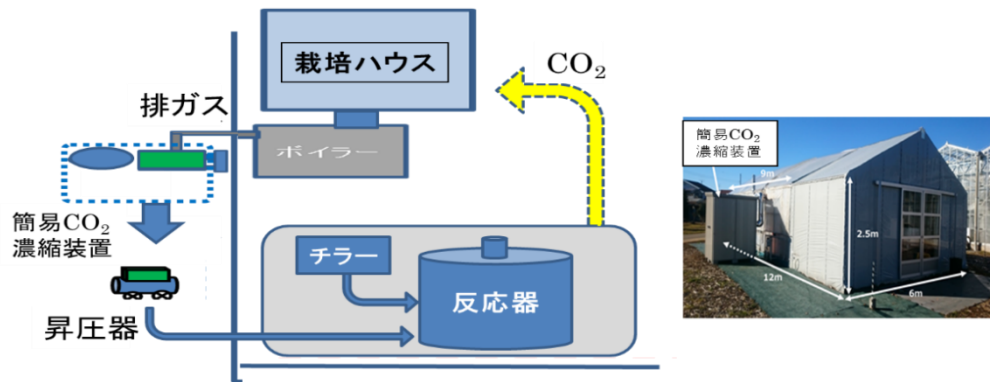


図3-1 ハイドレートを利用したCO₂分離回収装置

本研究では分離装置として大幅に多い回収量が特徴である「通常ハイドレート型分離装置(1)」と添加剤によりハイドレート生成条件の緩和を考慮した「セミクラスレートハイドレート型分離装置(2)」の2種類を開発した。

表3-1にこれらの手法の特徴の比較を示す。通常型については、高い包蔵性が特徴であるものの濃度が低い排ガスからのCO₂分離にはハイドレート生成時に高圧、すなわち、高い分離エネルギーが必要となることから、それを低減するために前段にCO₂濃縮過程が不可欠となる。なお、ハイドレートの生成条件、貯蔵量等はこれまでの研究である程度確立されている。開発した通常ハイドレート型分離装置の外観を図3-2に示す。

表3-1 ハイドレートをを用いたCO₂分離装置

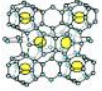

	結晶構造	特徴	取組内容
(1)通常ハイドレート型分離装置		ハイドレート化する際に低温高圧が必要だが、高い包蔵性により効率的なCO ₂ 回収が期待される。分解が容易。水のみによるクリーンな分離手法。	装置を開発し、ほ場に設置し、排ガスからCO ₂ をハイドレートに分離して、イチゴにCO ₂ 施用する実証試験を行い、装置の性能を評価した。
(2)セミクラスレートハイドレート型分離装置		添加剤を加える方法で、0℃、大気圧程度での生成が可能だが、包蔵性は低い。	装置を開発し、ほ場に設置し模擬ガスで試験稼働を行い、装置の性能を評価した。



図3-2 通常ハイドレート型分離装置

図3-3 セミクラスレートハイドレート型分離装置

一方、セミクラスレートハイドレート型分離装置は、逆に包蔵量は少ないものの添加剤の使用により温和な温度・圧力条件(0.8Mpa以下)でのハイドレート生成が可能という特徴を有し、高圧にする過程が不要なため、栽培現場への設置も容易である。しかしながら、添加剤の種類や生成条件が未知な部分が多く、まずこれら生成条件に関する解析が必要である。そこで、栽培実証用フィールド機の設計・製作の前にこれらの基礎条件であるハイドレートのCO₂捕集性能及び貯蔵量に関するデータの取得及び改良手法を検討した。

次に、これらの基礎試験を基にフィールド用の装置開発を実施した。また、基礎試験で得られたCO₂回収温度などの基礎データを元に、装置の運転条件を適正化し、施設園芸への適用可能性を検討した。開発したセミクラスレートハイドレート型分離装置の外観を図3-3に示す。

また、この他、開発した装置のCO₂分離エネルギー、回収量、コスト等の評価を実施した。以下、得られた研究成果を項目ごとに記載する。

(1) 通常ハイドレート型分離装置

① 簡易型CO₂濃縮装置

図3-4には、開発した簡易型CO₂濃縮装置の概要を示す。アンモニアによるCO₂の吸収と分離がより効率化するよう次のように設計した。まず、CO₂を吸収したアンモニア水がオイル缶内で排ガス熱との熱交換により気液に分離する際には、オイル缶内を十分な温度に保つ必要がある。そのため、排ガスから熱交換された熱をハウスに供給するのではなく図中

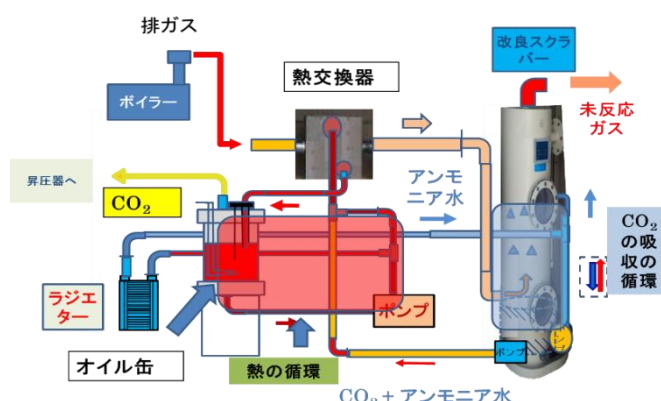


図 3-4 簡易型 CO₂ 濃縮装置

に示すように一部液中の熱がオイル缶に循環するように配管を改良した。また、アンモニア水とCO₂の接触は従来通りスクラバー内で行うが、溶液が十分にCO₂を吸収するようにスクラバー内の溶液が循環するよう配管を変更した。さらに、分離したアンモニア水が再びCO₂を吸収しやすくなるようにラジエーターを通過させ、温度の低下を図った。

② CO₂分離装置

図3-5に開発した通常ハイドレート型分離装置の詳細を示す。連続型でハイドレートを生成する場合、反応速度の増加が不可欠となる。そのため、ここでは微細気泡流法を採用し、生成過程にマイクロバブル発生装置を取り付けた。また、核生成が迅速に行えるように気液の接触には二重管型熱交換器を利用した。生成したハイドレートを分離するために高圧型気液サイクロ

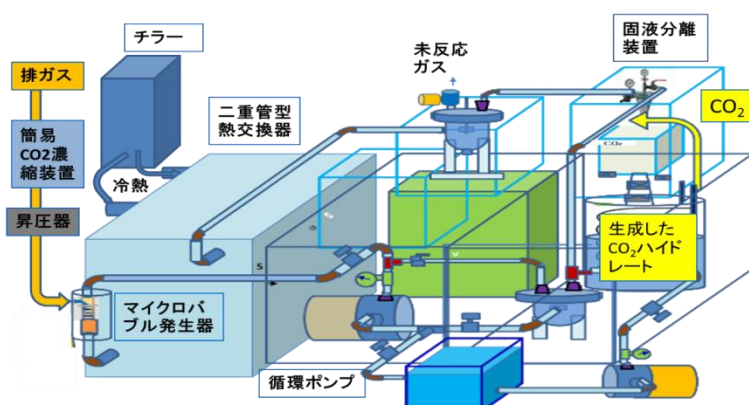


図 3-5 通常ハイドレート連続型分離装置のシステム構成

を利用した。生成したハイドレートを分離するために高圧型気液サイクロ

ンを設計・製作し、ハイドレートの取り出しにおいてはリレースイッチ回路を製作することで、系の圧力を低下させることなく取り出しが可能なシステムを構築した。

③圃場における実証試験

圃場試験については、図3-6に示すように農研機構（つくば市）に性能評価のための実証ハウス（栽培面積約5㎡）を設置し、CO₂を施用する作物としてイチゴを定植した。

CO₂濃縮装置はボイラーの排ガスが排出されるハウス外部に設置した。濃縮装置の排ガス冷却部分の冷却能力を、循環液の出口と戻り口の温度差

から算出したところ、67.2kcal/minと、十分な排ガス冷却効果を確認した。また、2種類のCO₂分離装置、すなわち、通常ハイドレート型とセミクラスレートハイドレート型の分離装置をハウス内に設置し、稼働させて性能評価を行った。

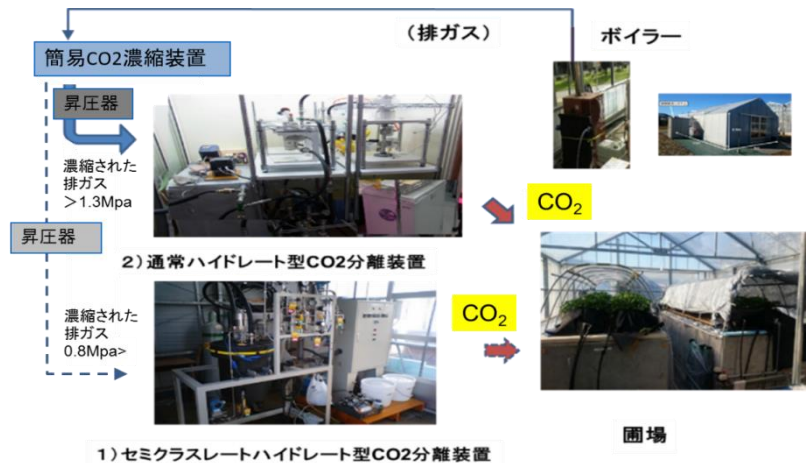


図3-6 ハイドレートをを用いたCO₂分離回収装置ほ場実証試験

(2)セミクラスレートハイドレート型分離装置

④セミクラスレートハイドレート生成基礎試験

図3-7に示した装置を用いてセミクラスレートハイドレートの生成及びCO₂分離回収実験を行った。まず、混合ガスの組成をおよそCO₂ : N₂ = 15 : 85としCO₂ + N₂混合ガスからセミクラスレートハイドレートを生成した際のガス吸収に伴う系の圧力低下を調べた。セミクラスレートハイドレートを生成するtetra-n-butylammonium bromide (TBAB)水溶液を用いた場合は、圧力が1時間程度低下したのち一定となった。これに対し従来型のハイドレートを生成するtetrahydrofuran (THF)水溶液を用いた場合は、実験開始後5時間程度経過した後もガスの吸収が持続していることが分かり、従来型のハイドレートとは異なる様式でTBABセミクラスレートハイドレートが生成していると考えられた(図3-8)。図3-9に各実験においてハイドレートに吸収されたガス

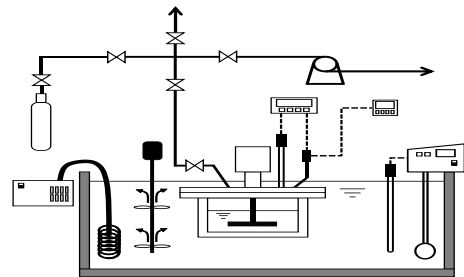


図3-7 ハイドレート生成基礎試

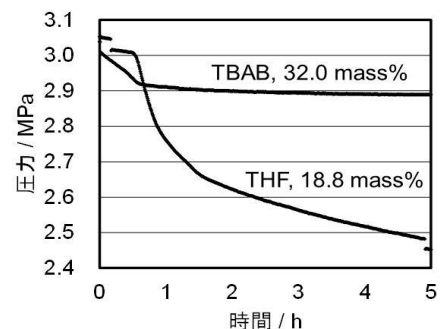


図3-8 ハイドレート生成時の圧力低下のトレンド

中のCO₂濃度の分析値を示した。THF水溶液を用いた場合は、いずれの圧力条件においても実験データのばらつきは小さく、平均するとTBAB水溶液の方が、ハイドレートに

包蔵されたガス中のCO₂濃度が高いことが分かり、TBABセミクラスレートハイドレートは従来型のハイドレートよりもCO₂を優先的に吸収することを示した。

次に、120~600 cm³の範囲でTBAB水溶液の仕込み量を変化させ、CO₂ガスの吸収量や濃縮性に及ぼす影響を確認した。その結果、800 cm³の内容積を有する本装置においては120~300 cm³程度までガス吸収量（縦軸の値）が直線的に上昇し、仕込み量500 cm³ではガス吸収量の増加割合が低下傾向を示し600 cm³で最も少ないガス吸収量となった（図3-10）。これは、ガスを連続供給した実験ではないため、ガス吸収によって系の圧力がハイドレートの生成が困難な圧力まで低下したためと考えられる。しかし、フィールド実証機で採用する連続ガス供給運転においては系の圧力は一定に維持されるため、水溶液量に比例してガス吸収量は増大すると考えられた。

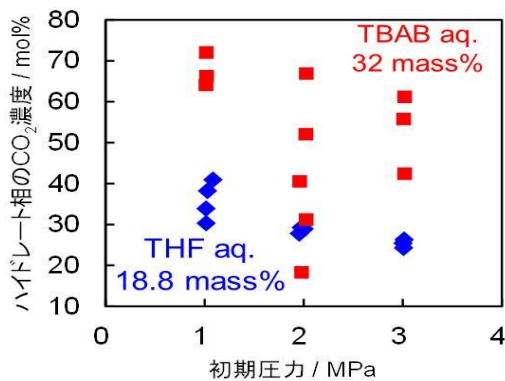


図3-9 ハイドレート中のCO₂濃度の初期圧力依存性

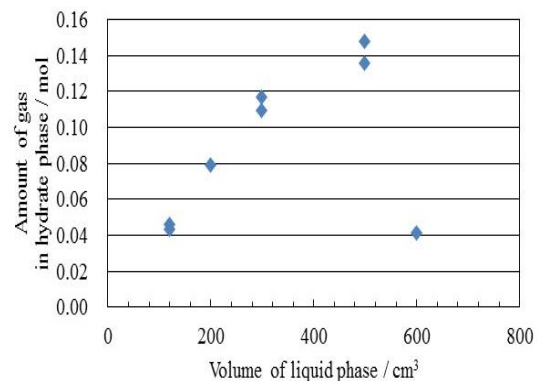


図3-10 TBAB水溶液の仕込み量によるガス吸収量の違い

さらに、TBABと同様な性質のある tetra-n-butylammonium chloride (TBAC) や tetra-n-butylphosphonium bromide (TBPB)、tetra-n-butylphosphonium chloride (TBPC) など他の物質を用いてセミクラスレートハイドレートの生成を行い、CO₂ガス吸収量と濃縮性を分析した。これらに比べTBABセミクラスレートハイドレートはCO₂吸収量が多かった。特に、フィールド実証機の運転条件であるTBAB水溶液濃度20 mass%、圧力1 MPaにおいて、TBABセミクラスレートハイドレートは他よりもCO₂吸収量が多く、CO₂の濃縮性も高い結果となった。TBACセミクラスレートハイドレートは最も少ないガス吸収量だったが、これらのセミクラスレートハイドレートの中で優れたCO₂濃縮性を示した。

また、TBABハイドレートを用い、混合ガスの組成をおよそCO₂ : N₂ = 50 : 50とし、同様に1 MPaの圧力条件でガス分離実験を行った結果、気相組成はハイドレート生成前のCO₂:N₂=0.41 : 0.59からハイドレート生成後にはCO₂ : N₂ = 0.31 : 0.69になり、ハイドレート相にはCO₂:N₂=0.66 : 0.34で取り込まれた。混合ガスの初期CO₂濃度が増加することにより、ハイドレート中のCO₂濃度を0.66まで濃縮することができた。これは、排ガス成分に近いCO₂:N₂=0.15 : 0.85のガスを用いたときよりも2倍以上高い濃度である。以上の結果により、フィールド試験装置における前段濃縮プロセスは有効であることが分かった。

⑤フィールド試験装置

栽培ハウス用CO₂回収装置（通称フィールド試験装置）を製作した。セミクラスレートハイドレートを利用したTBAB水溶液0.5 Lの小型装置でのCO₂回収連続試験では、攪拌回転数が高いほうがCO₂回収量が増加する傾向にあることを確認した(図3-11)。また、PVA（ポリビニルアルコール）を添加することでCO₂回収量は最大16%改善し、いずれの結果からも気液の接触向上がCO₂回収量の向上につ

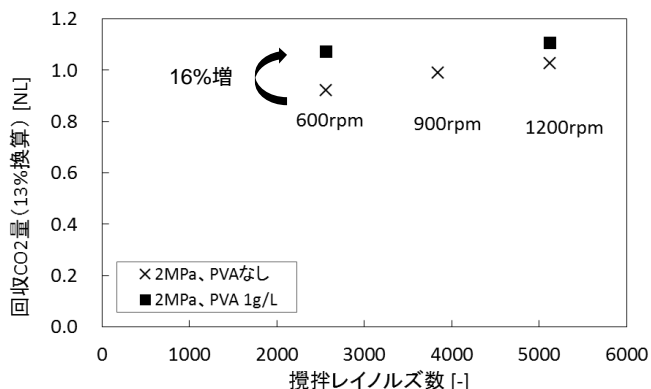


図 3-11 小型装置での CO₂ 回収連続試験
(純 CO₂ ガス、2 MPa、TBAB 水溶液 0.5 L)

ながることが分かった。そこで、当初、フィールド機のセミクラスレートハイドレート化反応器としてTBAB水溶液200 L規模のタンクを想定していたが、気液接触向上によるCO₂回収量の改善が明らかになったため、タンク容量をTBAB水溶液30 L規模に縮小することで、回収量についての問題は残るが当初設計よりも攪拌による気液接触が容易になり、より確実なCO₂回収が期待できると考えた。完成したフィールド機は図3-3の通り。

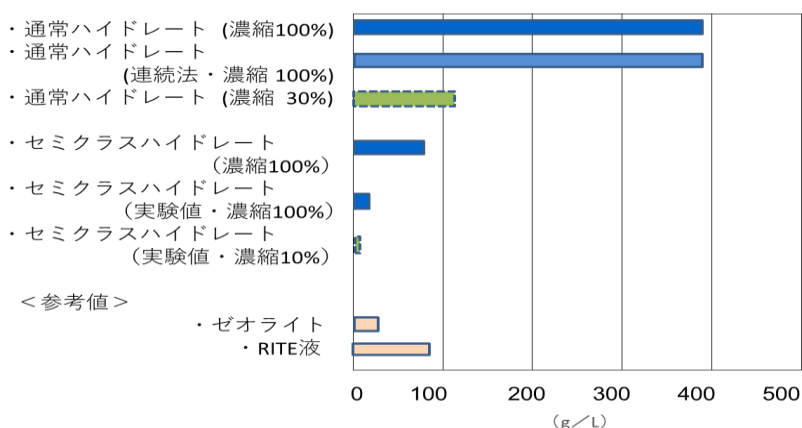


図 3-12 溶媒当たりの CO₂ 分離回収量の比較

フィールド機では、CO₂組成を0.13~1.0 (Balance N₂) に変えた模擬排ガスをを用いて、圧力0.9 MPa（高圧ガス保安法の適用外）の下、CO₂回収実験を行い、小規模装置の62%、産総研でのラボ実験の73%のCO₂回収量にまで到達した。

(3) 分離装置の有効性の評価

検討した2種類のハイドレート技術を用いたCO₂分離回収装置の有効性の検証を行った。図3-12は、CO₂を包蔵する溶媒（ハイドレートでは水）当たりのCO₂分離回収量の比較を運転条件ごとに示した。なお、参考値として文献値(松尾ら2011、LCS2016、松宮ら2005、井田ら2013、Rite2016)に記載されていた他のCO₂分離回収法における回収量についても付記した。これによると、通常ハイドレート法において前処理でCO₂濃縮を行った場合の回収量の多さが特筆される。一方、セミクラスレートハイドレートは、通常ハイドレート型には及ばないものの理想的にハイドレート化が実現できれば他の回収方法と比較しても十分な回収量があり、今後の研究継続により理想値に近づけることができればこの技術の実装が期待できる。

次に、図3-13にCO₂1kgを分離する際に要する回収エネルギーの比較を示した。ハイドレート法は他の分離方法と比較して運転条件が整えば分離エネルギーが小さく有効な手法であることが分かる。通常ハイドレート型については、100%排ガスCO₂を濃縮し連続生成した場合の有効性が確認できる。連続生成を用いない場合は大型の高圧反応容器によりCO₂ハイドレ-

トを生成する必要があり、安全性の問題から圃場の中で実施することは適当ではない。また、30%濃度の排ガスを用いた通常ハイドレート型は分離エネルギーが極端に大きくなってしまふことから、この手法では前処理による

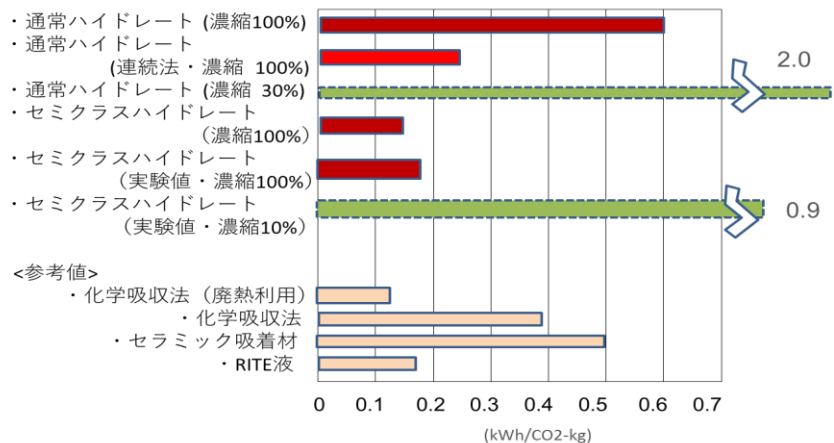


図3-13 CO₂1kg当たりの分離回収エネルギーの比較

る排ガスCO₂の濃縮行程は不可欠である。次に、セミクラスハイドレート型は、濃縮行程を前段階に備えれば他の分離方法と比較して分離エネルギーが最も小さく、今回の提案手法の有効性が示唆される。

なお、この手法において低濃縮の場合の分離エネルギーが大きくなっているのは、反応による回収量が小さいために一定のCO₂を回収するには容器のサイズを大きくすることが必要となり、系の攪拌、冷却等にエネルギーを有することに起因する。この点からも、先の考察同様、ハイドレート化の効率促進がこの技術の実装への現在の課題である。

3) 成果活用における留意点

冬季に施設園芸で使用する燃焼型暖房から発生するCO₂をハイドレート利用技術により回収し、日中の光合成促進に活用する技術を開発した。暖房から発生する排ガスに含まれるCO₂は濃度が低く、そのままハイドレート化するには生成コストが高くなることから、前段階でできるだけ低コストにCO₂を濃縮することが必要であり、ここでは簡易型CO₂濃縮装置を開発した。これらの技術は、まだ排ガスのハイドレート技術による利用の可能性についての知見が得られた段階であり、今後、実用化に向け、改良していく必要がある。

4) 今後の課題

今後は、開発した技術の実装に向け、セミクラスレートハイドレートによるCO₂分離回収の効率アップ、総合的なシステム評価、スケールメリットを考慮したフィージビリティスタディを行い、ガスハイドレート/セミクラスレートハイドレートそれぞれの特徴を活かしたシステムの構築を目指す。

開発した技術は、農業現場で発生したCO₂のみならず、他産業から発生するCO₂の有効利用にも活用できる。特に、他産業におけるCO₂排出現場においては、余熱などの未利用エネルギーをハイドレート生成時の温度・圧力に利用することも可能であることから、今後排ガスや環境の特性を考慮した低コストなCO₂の回収及びCO₂回収場所から離れた園芸施設への輸送方法等について検討していきたい。

中課題番号	14526683	研究期間	平成26～28年度
小課題番号	4	研究期間	平成26～28年度
中課題名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発		
小課題名	施設園芸における効率的なCO ₂ 施用技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	鈴木克己・静岡大学		

1) 研究目的

施設園芸におけるCO₂施用の効果は、施用したCO₂に対する農作物の生産量増加による収益増として評価することが経営的には望ましい。効率的なCO₂施用のためには、施用したCO₂が施設外に漏出することを最小限にとどめ、植物に固定されるCO₂の割合を高める必要がある。本課題では、トマトを用い、シンクソースバランスを適切に整え、CO₂施用時に収量が最大となる養水分管理を開発するとともに、蒸発冷房と換気を採用した半開放系でも収量の向上が可能なゼロ濃度差CO₂施用法の開発を目指す。また、CO₂貯留・供給装置によるCO₂施用と熱プロにおいて開発した局所保温装置への蓄熱を促成ナスの増収に効果的に結びつけるためには、冬季におけるハウス内気温の確保が必要である。そこで、これらの技術に日中加温技術を組み合わせて、促成ナスに対する増収効果を明らかにして総合的な経営評価を行う。

2) 研究成果

(1) ハウス内のCO₂濃度ムラの簡易推定法の開発

ハウス内のCO₂の挙動は測定が困難であるが、効率的な施用技術を開発する上で、明らかにする必要があることから、推定方法を開発した。

アルカリ溶液である水酸化ナトリウム(NaOH)水溶液はCO₂を吸収することでpHが低下する。そこで0.04N-NaOH溶液を入れた容器を使用し、異なるCO₂濃度中に3時間静置したところ、CO₂濃度とpHの変化値の間には高い相関が見られた。CO₂施用を行っているイチゴハウス内のpH変化を調べたところ、CO₂が噴出しているチューブ付近の株間では低く、株の上部で高いこと、全体では下部より上部の方が高いことが示され、株に吸収されなかったCO₂が上部へ移動していることが推定された(図4-1)。この結果は、CO₂濃度を以下に示す温度T(°C)とpH変化値(ΔpH)から求める式で表すこと

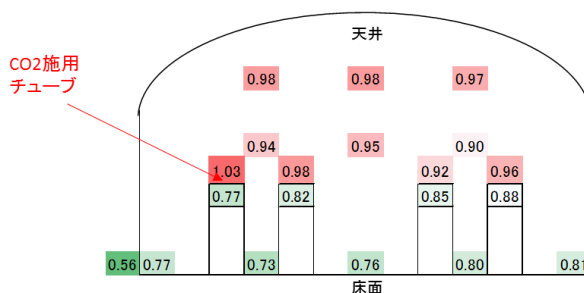


図4-1 イチゴCO₂施用ハウス内におけるNaOH水溶液のpH変化値

ができ、無駄の少ない施用方法（株間局所施用）の開発に利用できる。

<算定式>

$$C = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(-\Delta pH)}}{2a}$$

ただし、

$$a = -6.0 \times 10^{-9} \times T - 3.0 \times 10^{-7}, \quad b = 4.0 \times 10^{-5} \times T + 7 \times 10^{-4}$$

C : 推定CO₂濃度 (ppm)、 T : 0.004 mol L⁻¹のNaOH水溶液の処理3時間中の平均温度 (°C)、
 ΔpH : 0.004 mol L⁻¹のNaOH水溶液の処理3時間中のpHの変化量

(2) 効率的施用方法の開発

① 温室内群落微気象に基づくCO₂施用方法

日中、窓の開いた半開放温室において光合成量を高められるCO₂施用方法を開発するため、まず、群落内のCO₂濃度分布を測定し、日射の受光量が多い群落域のCO₂濃度が低いことを明らかにした。そこで、その領域に緩やかで均一にガスが拡散するチューブ（図4-2の右図）を利用して光合成速度に適した量を日射の多い領域に供給したところ、光合成速度が高まる一方で、換気窓近傍のCO₂濃度はそれほど濃度が上昇しなかった。

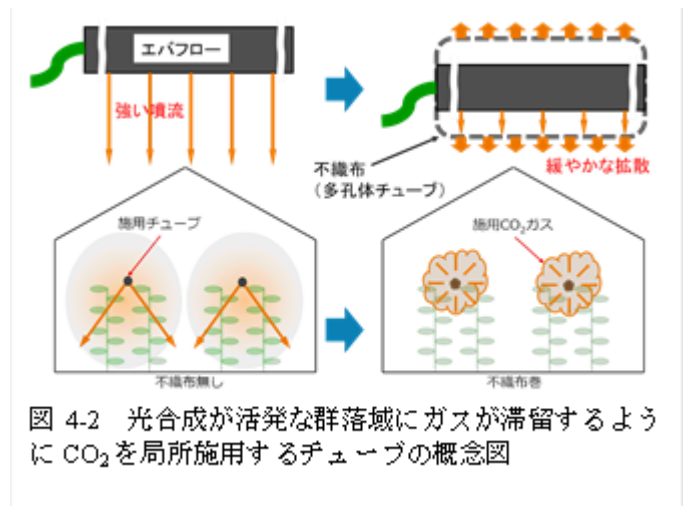


図 4-2 光合成が活発な群落域にガスが滞留するようにCO₂を局所施用するチューブの概念図

換気率「 n 」(m_{air}³ m⁻² min⁻¹)

$$n = \frac{Q_v}{|i_i - i_o|} \times 60 \times \frac{1}{w}$$

$$Q_v = -(Q_r + Q_t + Q_s)$$

Q_r : 換気伝熱量, Q_r : 室内の純放射量,
 Q_t : 貫流伝熱量, Q_s : 地中伝熱量, (J m⁻² s⁻¹),
 w : 空気の比重量 (kg m⁻³),
 i_i, i_o : 温室内, 外気エンタルピ (J kg⁻¹)

温室床面あたりの純光合成速度「 P 」(μmol m⁻² min⁻¹)

$$P = S + nM_{air}(C_o - C_i)$$

C_i, C_o : 温室内, 外CO₂濃度 (μmol mol_{air}⁻¹)
 S : CO₂施用速度 (μmol m⁻² min⁻¹)
 M_{air} : 空気の体積モル濃度 (≒ 44.6 mol_{air} m_{air}⁻³)

室内の濃度変化, 土壌呼吸は無視できるとする

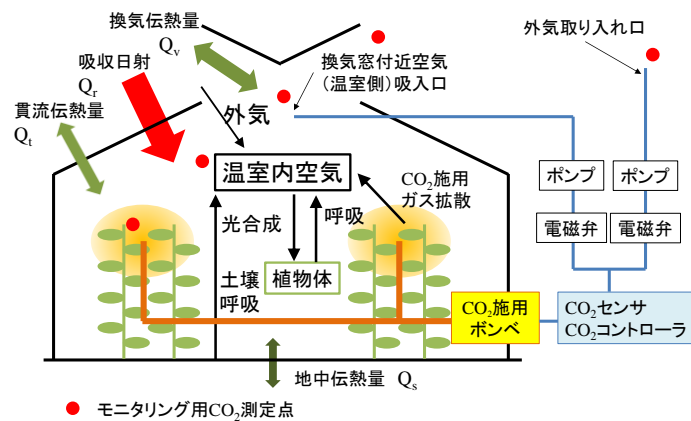


図4-3 熱収支法とCO₂収支法を用いた、局所CO₂施用の半開放温室の純光合成速度の算定

半開放温室において、熱収支法で算定した換気率をCO₂収支式に導入して、温室当たりの純光合成速度を推定した(図4-3、4)。推定値は、光合成蒸散測定装置で測定した値とある程度一致したことから、この推定方法は実際の栽培現場での1日の光合成速度の算定に利用できる。

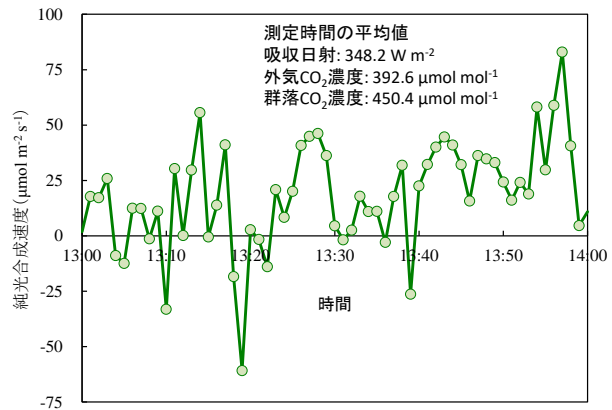


図4-4 CO₂収支法より算定した温室床面積あたりのトマト群落の純光合成速度 (2017. 1. 6)

② 株間局所施用に適したチューブの検討

無駄の少ない効率的なCO₂利用のため、CO₂局所施用に用いるチューブの検討を行った結果、材質や形状によりCO₂の拡散に差がみられ、中空でないものはチューブの先端まで送ることが難しく、穴が開いているタイプは、チューブの位置によるムラが大きくなることが明らかになった。結論として多孔質ゴム製チューブが素材面全体からCO₂を均一に放出しており、株間の局所施用に適していると考えられた。

③ CO₂施用時の培養液管理

CO₂施用時に収量が最大となる養水分管理を開発するため、CO₂施用(ハウス閉鎖時800ppm)の有無とシンクソースバランスを変えた低段密植栽培のトマトの生育特性を調査した(培養液濃度一園試処方1単位及び0.5単位、摘果・摘葉処理一対照区:4果・摘葉なし、摘果区:1果・摘葉なし、摘葉区:4果・半分の葉を摘葉)。CO₂施用によりシンクソースバランスがソース側に傾き、過繁茂の状態になると、葉にデンプン粒が貯まり光合成速度が低下することが明らかになった。よって、

CO₂施用を効率的に行うには、光合成産物を受け取る果実を多く付ける必要があることが示された。

培養液	EC (dS/m)	カチオン濃度(me/L)				アニオン濃度(me/L)			
		NH ₄ -N	K	Ca	Mg	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄	Cl
園試1/2(対照)	1.20	0.7	4.0	4.0	2.0	8.0	2.0	2.0	0
+K,P	1.55	0.7	5.8	4.0	2.0	8.0	4.6	2.0	0.9

また、CO₂施用を行った場合、トマトの株は培養液成分のうち、N、P、K、Ca、Mgなど肥料成分をより吸収していた。Nについては茎葉部分に多く蓄積し、果実部分の肥料効率としては低下していたため、P、Kの濃度を増やし、収量が変化するか調査を行った。果実数が同じ場合は茎葉の重量が増えたのみで果実の増収効果が見られなかったが、果実数を増やすことで増収効果が現れ

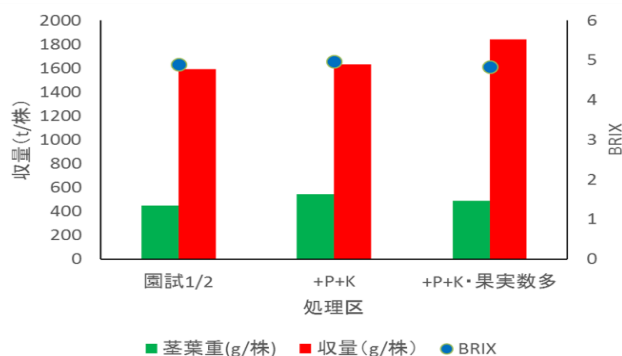


図4-5 培養液の組成と、CO₂施用ハウス内(平均615ppm)でのトマト3段摘心栽培(4500本/10a)の収量とBRIX

※果実数一園試1/2区:11個、+P+K区:11.1個、+P+K果実数多区:13.5個

た（図4-5）。

以上のことから、CO₂施用を行う場合、果実数は多めにして、肥料成分としてP、Kを多めに加えることで、果実収量が増加することが期待できる。

（3）ナスにおけるCO₂貯留・供給システムと日中加温技術を組合せた栽培方法による収益性の改善

開発したCO₂貯留・供給システムと熱プロで開発した局所加温技術を組合せた増収・経済効果を実証するため、ハウス栽培の促成ナスにおいて、熱プロで開発した茎保温器、中課題2で開発したCO₂吸脱着装置を設置し、茎保温器の効果を高めるための日中加温（日中の暖房温度を高め曇雨天日のハウス内気温を確保、図4-6）を行い、各技術の組合せと収量の関係进行调查した（図4-7）。

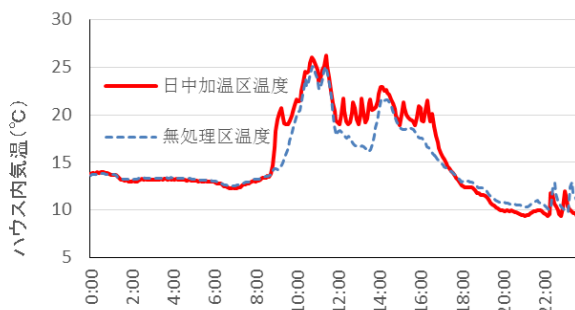


図4-6 曇天時のハウス内気温



図4-7 実証の様子

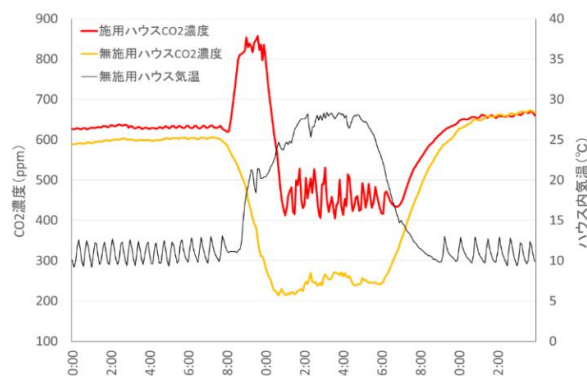


図4-8 CO₂施用の有無とハウス内CO₂濃度の推移

※12月17日晴天日でのデータ

CO₂施用区は、日中のハウス内CO₂濃度を400ppm以上に維持でき、ナス群落内のCO₂濃度差が小さかったことから、本CO₂貯留・供給装置及びチューブによるCO₂施用方法の実用性は非常に高いと考えられた（図4-8）。また、茎保温器内の温度は、日中はハウス気温より2.1°C低かったが、夜間は3.6°C高く、前夜半の保温効果が高かった。CO₂施用、茎保温器と日中加温技術を組み合わせた場合の12～1月の収量は無処理に比べ36%増であり（表4-1）、目標の20%の収益増の達成が見込まれ、投資額以上の収益増が期待できる。

表4-1 CO₂施用、局所保温、日中加温の有無と商品果数および商品果収量

試験区	商品果数 (本・m ²)		商品果収量 (kg・m ²)	
	10～11月	12～1月	10～11月	12～1月
日中加温 + CO ₂ 施用 + 局所保温	29.9	45.8 (129)	4.1	6.4 (136)
日中加温 + CO ₂ 施用	30.9	44.0 (124)	4.3	6.2 (132)
日中加温	30.8	37.2 (104)	4.3	5.0 (106)
無処理	29.3	35.6 (100)	4.1	4.7 (100)

※ 各処理区の概要

処理区	開始日	処理内容
局所保温区	10月17日	クボタシーアイ(株)製茎保温器試作品 20℃で相変化する潜熱蓄熱材使用
日中加温区	11月28日	ハウス内温度が8～17時:20℃、17～8時:10℃になるよう石油温風ボイラーにより加温
CO ₂ 施用区	12月2日	群落内CO ₂ 濃度が8～10時:1000ppm、10～17時:400ppmになるよう、株元に配置したチューブからフタバ産業(株)製試作機により施用
無処理区	11月28日	日中加温区処理の夜間の処理のみ実施

(4) プロジェクト成果普及資料の作成

プロジェクト全体の成果をとりまとめ、「研究成果ダイジェスト」や「施設園芸CO₂利用ハンドブック」を作成し、成果発表会やアグリビジネスフェア等で配布し、施設園芸関係者に周知した。

3) 成果活用における留意点

- ①ハウス内のCO₂濃度の簡易推定法について、提案した推定式は温度とpH変化値から導いているため、風速や光量などの環境要因による影響を受け、実際値とずれる場合がある。
- ②開発した純光合成速度の推定のためのCO₂濃度の測定は、少なくとも、日射を受ける群落近傍、換気窓（側窓、天窗）付近、屋外においてCO₂濃度を短時間のスパンで測定する必要がある。そのため、拡散型CO₂センサの使用が適するが、このセンサはまだ精度と耐久性が十分ではないため、一定期間ごとに校正が必要となる。
- ③局所保温装置は試作品であり市販化については未定である。

4) 今後の課題

CO₂施用時の培養液組成が今回提案したもので適切であるかの生産現場での実証試験、植物体のCO₂固定速度とCO₂供給速度の収支がつりあうように管理するための制御方法と経済評価、より正確な値を示すCO₂濃度簡易測定法を検討しなければならない。

提案した温室内作物群落全体の光合成速度推定法の汎用性を評価するために、さまざまな気象条件におけるCO₂収支法による半開放温室（換気窓が開放された状態）の光合成速度の連続測定試験、CO₂収支解析に用いるCO₂測定地点について追試験を実施する。

日中加温+CO₂施用+局所保温技術については、栽培期間終了（H29年6月）後、総合的な経営評価を行う。また、増収に効果的で施用ロスが少ないCO₂施用濃度の検討及びハウス内気温を緩やかに上昇させる日中加温設定温度の検討が必要である。

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際				
14526683	0	3	27	3	8	1	3	19

注1)学術論文数は直接本事業の成果を掲載したものに限定してカウントすること。

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者	掲載誌	巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	①	農研機構、東京大学、産総研	A cooling and CO ₂ enrichment system for greenhouse production using CO ₂ clathrate hydrate	Umeda Hら	Engineering in Agriculture, Environment and Food	8(4)	307-312	2015	3
2	①	産総研	Phase equilibrium and characterization of ionic clathrate hydrates formed with tetra-n-butylammonium bromide and nitrogen gas	Muromachiら	Fluid Phase Equilibria	413	249-253	2016	4
3	①	産総研	Preservation of CO ₂ Hydrate under Different Atmospheric Conditions	Takeyaら	Fluid Phase Equilibria	413	137-141	2016	4

注1)和文、欧文の順で記載。発行年は発行年月(西暦年以下同じ)とする。

注2)区分①の原著論文(受理されたものに限る)は、謝辞等に本事業予算の支援を受けたことが明記されていること。また、論文は直接本事業の成果を掲載したものに限定して記載

注3)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(2) 学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	包接水和物のガス利用技術に関する研究紹介	室町 実大	産業技術総合研究所	日本エネルギー学会 CBM・SG研究会 ／GH研究会合同研究会	2014	7
2	CO ₂ クラスレートハイドレートをを用いた施設園芸向け空調システムの開発	梅田大樹、安東赫、岩崎泰永、松尾誠治	農研機構野菜茶業研究所、 東京大学	農業施設学会	2014	8
3	Low Dissociation Rate of Molded Natural Gas Hydrate with Electrolyte at 253 K and 1 atm	Mimachi, H., Takahashi, M., Sugahara, T.,	三井造船株式会社	9th International Methane Hydrate R&D Workshop— Fiery Ice 2014	2014	11
4	CO ₂ ハイドレート技術の農業圏での利活用に関する研究紹介	松尾誠治	東京大学	日本エネルギー学会・天然ガス部会・ 第44 回GH 研究会	2014	12
5	CO ₂ 再資源化を目的としたCO ₂ ハイドレートの施設園芸への利活用	松尾誠治、岡屋克則、藤田豊久、梅田大樹、岩崎泰永	東京大学、 農研機構野菜茶業研究所	平成27年度資源・ 素材関係学協会合同 秋季大会	2015	9
6	炭酸ガスハイドレートの分解速度評価	竹谷敏、室町実大、山本佳孝、松尾誠治	産業技術総合研究所、 東京大学	日本エネルギー会 第24回大会	2015	8
7	セミクラスレートハイドレートによるCO ₂ + N ₂ 混合ガスの分離に関する研究	橋本秀紀、室町実大、前川竜男、竹谷敏、山本佳孝	産業技術総合研究所	日本エネルギー会 第24回大会	2015	8
8	CO ₂ 再資源化を目的としたCO ₂ ハイドレートの施設園芸への利活用	松尾誠治、岡屋克則、藤田豊久、梅田大樹、岩崎泰永	東京大学、 農研機構野菜茶業研究所	平成27年度資源、 素材関係学協会合同 秋季大会	2015	9
9	バイオマス資源の燃焼利用における溶融程度の評価	小林有一、塚本隆行、薬師堂謙一	農研機構中央農業研究センター	農業環境工学関連 5学会2015年合同 大会	2015	9
10	グロースチャンパー内でのCO ₂ 濃度とトマトの光障害発生の関係	佐藤未里、里内翔太、切岩祥和、糠谷明、鈴木克己	静岡大学	園芸学会平成27年 度秋季大会	2015	9

11	CO ₂ 施用時にシンクソースバランスを変化させたトマトの養分吸収特性	佐々木達也、戸田育樹、切岩祥和、糠谷明、鈴木克己	静岡大学	園芸学会平成27年度秋季大会	2015	9
12	CO ₂ 施用時にシンクソースバランスを変化させたトマトの光合成速度と葉内デンプン含量	渡辺真千子、古屋哲、切岩祥和、糠谷明、鈴木克己	静岡大学	園芸学会平成27年度秋季大会	2015	9
13	奈良県農業研究開発センターにおけるイチゴの栽培技術に関する最近の取り組み	西本登志	奈良県農業研究開発センター	平成27年度近畿地域マッチングフォーラム	2015	11
14	固形燃料化を目的とした木質チップの実規模乾燥調製試験	竹倉憲弘、薬師堂謙一	農研機構中央農業研究センター	農業食品工学会	2016	5
15	ロータリーキルン式バーナーでの木質チップの燃焼状況	薬師堂謙一、竹倉憲弘	農研機構中央農業研究センター	農業施設学会	2016	8
16	「低温期の施設栽培における木質ペレット暖房機の制御方法」	安東赫、梅田大樹、岩崎泰永、中野明正	農研機構野菜花き研究部門	園芸学会	2016	9
17	CO ₂ 貯留装置の開発とCO ₂ 局所施用の効果	仲照史	奈良県農業研究開発センター	平成27年度 近畿中国四国農業試験研究推進会議 推進部会 花き推進部会	2016	1
18	CO ₂ 貯留装置の開発	丹羽祐治	フタバ産業(株)	平成27年度 近畿中国四国農業試験研究推進会議 推進部会 花き推進部会	2016	1
19	施設内のCO ₂ 濃度ムラ推定のための簡易方法の検討	鈴木克己、佐々木達也、切岩祥和、糠谷明、狩野敦	静岡大学	日本農業気象学会	2016	3
20	水溶液のpH変化によるハウス内CO ₂ 濃度ムラの解明	佐々木達也、切岩祥和、糠谷明、狩野敦、鈴木克己	静岡大学	園芸学会	2016	3
21	夏期トマト栽培における夜間冷房と早朝CO ₂ 施用の効果	古屋哲、切岩祥和、糠谷明、鈴木克己	静岡大学	園芸学会	2016	3

22	二酸化炭素施用技術に関する奈良県における研究と普及	西本登志	奈良県農業研究開発センター	園芸学会近畿支部大会公開シンポジウム	2016	8
23	Carbon capture from CO ₂ + N ₂ mixed gas based on TBAB hydrates	橋本秀紀、山口勉、前川竜男、山本佳孝、竹谷敏、室町実大	産業技術総合研究所	Fiery Ice 2016	2016	6
24	A feasibility study of the CO ₂ utilization system for agricultural production based on semiclathrate hydrates	室町実大、山本佳孝、前川竜男、竹谷敏、三町博子、木下貴博、村山哲郎、梅田大樹、松尾誠治	産総研、三井造船、農研機構、東大	Fiery Ice 2016	2016	6
25	CO ₂ /N ₂ 混合ガス分離における TBA塩およびTBP塩ハイドレートのガス包蔵特性	橋本秀紀、山口勉、室町実大、前川竜男、竹谷敏、山本佳孝	産業技術総合研究所	日本エネルギー学会第25回大会	2016	8
26	CO ₂ の高濃度施用がトマト葉の黄化発生に及ぼす影響	佐藤未里、鈴木克己、切岩祥和、糠谷明	静岡大学	園芸学会東海支部会	2016	8
27	セミクラスレートハイドレートのCO ₂ /N ₂ ガス分離特性	室町実大、橋本秀紀、山口勉、前川竜男、竹谷敏、山本佳孝	産業技術総合研究所	低温研究所研究集会「H ₂ Oを科学する会・2016」	2016	12
28	TBA 塩およびTBP 塩セミクラスレートハイドレートのCO ₂ 包蔵性および選択性	橋本秀紀、山口勉、竹谷敏、山本佳孝、室町実大	産業技術総合研究所	第8回メタンハイドレート総合シンポジウム	2016	12
29	CO ₂ 局所施用ハウス内のCO ₂ 濃度分布の検討	佐々木達也、切岩祥和、鈴木克己	静岡大学	園芸学会	2017	3
30	CO ₂ 収支法によるゼロ濃度差CO ₂ 施用温室の光合成速度の算定	嶋津光鑑、森大樹、于海倩、宇野真優子、狩野敦	岐阜大学	日本農業気象学会	2017	3

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(6) 報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名等	掲載年	掲載月	掲載日	機関名	備考
②	フタバ産業 農業支援に参入 車部品の技術応用 ハウスでCO ₂ 還元・制御	日刊工業新聞	2015	2	19	フタバ産業(株)	
②	排出CO ₂ 活用ハウス収量増 夜間暖房で発生→蓄え栽培に	中日新聞	2015	12	28	フタバ産業(株)	
②	車マフラー技術で光合成装置	日経産業新聞	2016	4	14	フタバ産業(株)	
②	東海トップに聞く2016 フタバ産業 三島康博社長 マフラー技術農業に	読売新聞	2016	2	23	フタバ産業(株)	
②	フタバ産業 CO ₂ 施用装置開発 暖房機の排気使い燃料不要 ハウス内の温度上げず	日本農業新聞	2016	2	22	フタバ産業(株)	
②	「悪者」CO ₂ 農で脚光	東京新聞	2016	1	1	フタバ産業(株)	
②	ハウス栽培に排ガス制御技術 フタバ産業が農業分野参入	中日新聞	2016	12	28	フタバ産業(株)	
②	施設園芸セミナー 売れる品目や増収技術学ぶ	日本農業新聞	2017	2	17	岐阜大学	

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(7) 普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの、製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの

区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
②	CO ₂ 吸脱着装置	フタバ産業(株)	2016	11	施設園芸の夜間暖房時に排出される排ガスからCO ₂ を回収貯留し、日中、光合成促進のために利用	モニター農家の施設に20台設置、実用試験中

注1)区分は複数可。

注2)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(8) 発表会の主催の状況

(シンポジウム・セミナー等を記載する。)

整理番号	発表会の名称	年月日			開催場所	参加者数	機関名	備考
1	熱プロ・熱CO ₂ プロ成果発表会 「施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発」	2015	11	10	栃木県総合文化センター	150	コンソーシアム	中央農研・薬師堂氏講演「施設園芸における化石エネルギー脱却に向けた現状と展望」
2	熱プロ・熱CO ₂ プロ他成果発表会 「生産現場に革新を起こす施設栽培の最先端技術」	2015	11	30	豊橋サイエンスコア	200	コンソーシアム等	フタバ産業(株)丹羽氏講演「排ガスからのCO ₂ 貯留システム」
3	熱CO ₂ プロ・SIP植物工場共催 成果発表会「これからの施設園芸のための革新的CO ₂ 施用技術と高品質多収生産モデル」	2016	12	5	ウインク愛知	70	コンソーシアム	SIP植物工場との共催で行った

注1) 機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(9) アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

区分; ①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	年月日			開催場所	参加者数	主な参加者	機関名	備考
1	①	第5回トマト・キュウリサミットinさいたま	2015	1	22	埼玉会館			静岡大学	熱プロの成果と併せて紹介
2	①	イチゴの栽培技術の歩みと最近の研究成果・農工連携による波長変換資材の開発に関する公開シンポジウム	2015	10	29	大阪府立学 I-site なんば	60	民間企業	奈良県農業研究開発センター	
3	①	兵庫県ハウスいちご研究会 第32回総会記念講演会	2015	10	30	加古川総合文化センター	60	生産者、JA、民間企業、行政等	奈良県農業研究開発センター	
4	②	アグリビジネス創出フェア「熱プロコンソーシアム」	2015	11	18-20	東京ビックサイト			コンソーシアム	

5	①	CO ₂ 貯留装置の開発とCO ₂ 局所施用の効果	2016	1	25	広島県民文化センターふくやま			奈良県農業研究開発センター	
6	①	CO ₂ 貯留・供給装置の開発	2016	1	26	広島県民文化センターふくやま			フタバ産業(株)	
7	①	奈良県農業研究開発センター平成27年度成果発表会	2016	2	19	田原本青垣生涯学習センター(奈良県磯城郡田原本町)	150	生産者、JA、民間企業、行政等	奈良県農業研究開発センター	
8	①	奈良市イチゴ研究会古都華部会	2016	2	19	奈良市役所	10	生産者、行政	奈良県農業研究開発センター	
9	①	啓林堂書店イベント「奈良発！ブランドいちごの誕生ものがたり」	2016	3	12	啓林堂書店奈良店	15	消費者	奈良県農業研究開発センター	
10	①	世田谷花きバラ研究会総会	2016	5	23	ロワジールホテル豊橋	32	生産者	奈良県農業研究開発センター	
11	①	世田谷花きバラ研究会総会	2016	5	23	ロワジールホテル豊橋	32	生産者	フタバ産業株式会社	
12	②	GPEC「熱CO ₂ プロジェクトコンソーシアム」	2016	7	27-29	東京ビックサイト			コンソーシアム	
13	①	神奈川県花き養液耕研究会	2016	8	29	JAIせはら本所	25	生産者	奈良県農業研究開発センター	
14	①	神奈川県花き養液耕研究会	2016	8	29	JAIせはら本所	25	生産者	フタバ産業株式会社	
15	②	アグリビジネス創出フェア「熱CO ₂ プロジェクトコンソーシアム」	2016	12	14-16	東京ビックサイト			コンソーシアム	
16	①	cotocotoイベント「はじまりの奈良フォーラム」	2016	12	18	cotocoto(奈良市)	25	消費者、民間企業、行政	奈良県農業研究開発センター	
17	①	奈良ひとまち大学「NEWスター「古都華」のここがすごい！」の打ち合わせ	2017	1	13	奈良市生涯学習センター	7	消費者、民間企業、行政	奈良県農業研究開発センター	
18	①	第38回施設園芸総合セミナー「収量アップを支えるCO ₂ 施用技術の新しい展開」	2017	2	16	東京・晴海客船ターミナル	400	農家、都道府県等	岐阜大学	

19	①	県内パティシエとの交流会	2017	3	22	奈良県郡山総合庁舎	50	パティシエ、民間企業	奈良県農業研究開発センター
----	---	--------------	------	---	----	-----------	----	------------	---------------

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。