

【公開版】

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「蛍光発光する蓄熱基材による温室栽培植物の育成促進と大幅省エネを
実現する高機能農園芸システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公立大学法人 大阪府立大学

目 次

第1章 研究開発の概要

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 1-1 | 研究開発の背景・研究目的及び目標 | 4 |
| (1) | 研究開発の背景 | 4 |
| (2) | 研究の目的および目標 | 5 |
| (3) | 研究の概要 | 7 |
| (4) | 実施内容 | 7 |
| 1-2 | 研究体制 | 8 |
| (1) | 研究組織及び管理体制 | 8 |
| (2) | 研究員 | 9 |
| (3) | 委員会等 | 11 |
| 1-3 | 成果概要 | 13 |
| (1) | 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発 | 13 |
| (2) | 高機能蓄熱資材製造システム装置の開発 | 13 |
| (3) | 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立 | 14 |
| (4) | 外部発表等の状況 | 14 |
| 1-4 | 当該研究開発の連絡窓口 | 15 |

第2章 本論

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | はじめに | 15 |
| 2. | 本課題の研究内容 | 15 |
| 3. | 本課題の成果 | 16 |
| (1) | 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発 | 16 |
| 1-1 | 高性能な蓄熱資材の開発 | 16 |
| 1-2 | 近赤外吸収および近赤外蛍光フィルムの開発 | 17 |
| 1-3 | 近赤外吸収・蛍光フィルムおよびカプセルジャケットで機能化した高性能蓄熱資材の開発 | 19 |
| (2) | 高機能蓄熱資材製造システム装置の開発 | 22 |

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 2-1 | 蓄熱材自動注入装置の開発 | 21 |
| 2-2 | 蓄熱材自動封止化装置の開発 | 22 |
| (3) | 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立 | 23 |
| 3-1 | 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の効能評価 | 23 |
| 3-2 | 高性能蓄熱資材による省エネ効果の評価 | 27 |

最終章 全体総括

| | | |
|-----|------------------|----|
| 1. | 複数年の研究開発成果 | 29 |
| 2. | 研究開発後の課題および事業化展開 | 29 |
| (1) | 研究開発後の課題 | 29 |
| (2) | 事業化展開 | 30 |

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

温室栽培農業においてハウス内環境を維持するため冷暖房設備が使用されているが、当該設備運転に必要な燃料の価格の変動が生産コストに及ぼす影響が大きいため、温室栽培事業が困難な状況にある。そのため冷暖房設備の設置工事費、維持運転コスト削減（省エネ対策）や日射などの再生可能な気象資源を利用した省エネ温度管理法が強く望まれている。また、設備運転コスト削減に加え、生産効率の向上（収量の向上）を図るため対象植物の生育に最適なハウス内環境の制御が求められており、特に太陽光（自然光）の波長を最適な波長に変換し、光合成の促進と光形態形成の促進を図るというニーズが存在する。このような課題・ニーズに対応するには、冷暖房設備に頼らずハウス内を最適温度に維持できる蓄熱・放熱技術や光の波長を調整するエネルギー効率を高める複数技術の組合せが必要となり、これらエネルギー効率を高める部材の開発が求められている。

石油のような化石燃料は二酸化炭素の排出による地球温暖化や資源の枯渇の問題があり、また、原油価格が産油国の経済的、政治的な理由から近年、大きく変動し、冷暖房費を必要とするハウス栽培農家の競争力が著しく低下し、事業継続の危機に立たされている。特に、イチゴ、トマト、ラン等の高価格商品の競争力強化には、冷暖房設備用の燃料費の変動が生産コストに及ぼす影響が大きいため冷暖房設備の運転コスト削減（省エネ対策）が大きな課題となっている。また、農作物の生産性や品質の向上のための新しい技術も求められている。上記のような課題・ニーズに対応するには、太陽光の熱と光を効率的に利用する低コストな省エネ化技術や高機能化技術が必要である。ビニルハウス栽培用の省エネ技術として、固体から液体、あるいは液体から固体への相変化時に、発生する大きな冷熱や温熱を利用する蓄熱材が注目され、水以上に大きな蓄熱容量を示す材料で蓄熱資材が試作されるようになった。一方、農作物の生産性や品質の向上のための新しい技術として、光技術が注目され、特にLED照明などで、特定の波長の光で農作物の生育を促進させることも行われるようになった。しかしながら、植物工場等でLEDを設置するためには、多額の設備費を必要とすることから園芸農家に未だ広く普及していないのが現状である。その中で、蛍光色素を用いた波長変換フィルムは、低コストで簡単な使用方法で、植物の成長促進や高品質化に有用であることから、高性能な蓄熱材と波長変換フィルムを開発して、エネルギー効率を高め、農作物の増産、

【公開版】

高品質化に貢献する本研究開発は、ハウス栽培農家の発展に重要な役割を果たす。このような高機能な農業用資材の開発においては、色素合成といった素材開発に係る技術に加えて、当該素材の機能が発揮できるよう製品化する成形技術など複数の技術・ノウハウが必要とされ、中小企業が単独で取り組み事業化するには非常にハードルが高い。このため、高機能合成技術やプラスチック加工技術を有する中小企業が連携して各社の技術を結集し、なおかつ、大学等の研究機関の協力を得ながら当該新製品の開発に取り組むもので、大手企業が参入していない農園芸分野で、ハウス栽培農家が課題としている省エネ温度管理の達成に向けて、多量に需要が期待される高機能蓄熱資材を連携した中小企業で最終製品までの完成を目指す。

(2) 研究目的及び目標

ハウス栽培農家が課題としている冷暖房費の大幅削減と作物の品質向上の達成に向けて、固体-液体間の相変化を伴う潜熱蓄熱基材を高効率化し、植物の光形態形成を促進するのに必要な光を選択的に調整可能な高機能な波長変換機能を付与し、さらに蓄熱・放熱技術と波長変換調整技術を複合化した高機能蓄熱資材製造システム装置の開発を行い、ハウス栽培用蓄熱部材の高度化を図り、省エネルギー化に対応した部材の開発を行う。さらに、新規蓄熱資材による省エネ効果や植物への効能評価を行い、新規蓄熱資材の使用法も合わせて技術を確立する。本研究開発では、植物の光形態形成に係る近赤外領域の波長変換資材を用いて、高付加価値の農作物であるイチゴ、トマト等の生育、高品質化に及ぼす効果と蓄熱資材に装着したときの太陽熱の効率的な吸収効果について検証し、高機能な蓄熱資材の創製を目指す。さらに、低コストで高性能な蓄熱資材を実現するために、蓄熱材の容器への注入や封止過程を自動化し、大容量の蓄熱資材の容器開発も行い、これら容器に近赤外蛍光機能や近赤外吸収機能を付与し最終製品を生産し、ハウス栽培等で実証実験を行い、ハウス園芸農家等に安価で高機能化した蓄熱資材を提供し、農園芸分野の高価格商品の競争力向上に寄与し、当該製品の新しい需要の創出を実現する。

省エネルギー化や節電対応等を考慮した素材及び加工技術の実現を目指す中小製造業の基盤技術の高度化を目的として、以下の目標値を設定して行う。

1. 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発

本研究開発では、ハウス栽培分野で求められている大容量の蓄熱資材を実現するために、多層構造の大容量容器と太陽熱を高効率に吸収し、波長変換資材により植物の光形態形成を

【公開版】

促進する機能を向上させた高性能蓄熱資材を創製する。大容量化は、容器の厚み等を大きくすることで、高機能化は、近赤外吸収フィルムや遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットの装着で実現する。

最終目標値としては、蓄熱資材の蓄熱容量（203 kJ/枚または 406 kJ/枚）を 35%以上向上した大容量化、高性能蓄熱資材による蓄熱効果を現行より 50%以上改善することを目指した。高機能化に必要な近赤外吸収フィルムや遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットは、色素含有率 0.03～0.08 wt%、蛍光量子効率 30%以上、蛍光ピーク波長 700～800 nm または吸収波長 700～900 nm の特性をえることを目指した。特に、開発に必要な蛍光色素の特性は、モル吸光係数 50,000 以上、蛍光量子効率 40%以上、発光ピーク波長 700～800 nm、250 °C以上の耐熱性をもつ目標値を設定した。

2. 高機能蓄熱資材製造システム装置の開発

低コスト化のために高性能蓄熱資材の製造装置として、蓄熱材の自動注入装置や蓄熱材容器の封止化装置を一体化した製造装置を設計、試作し、量産プラントの長時間運転を可能にする各種運転性能を設定し、テスト生産の実現を目指した。

最終目標値としては、高粘性で配合脱泡した潜熱蓄熱材を定温で15秒以内に容器の小口径注入口からの充填や蓄熱材容器の注入口洗浄、同材質の栓部品の設置、密栓を10秒以内で自動化し、カプセルコストを想定70%にコストダウンすることを目指した。

3. 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立

高性能蓄熱資材が設置されたハウスでの燃料費削減による省エネ効果の検証や高性能蓄熱資材や波長変換フィルム設置方法や果実等への効能を以下の目標値を設定し、実証実験での評価を目指した。

最終目標値としては、高性能蓄熱資材によるハウス内の最大昇温抑制効果8°C以上（対照区温室比）、温室使用重油または灯油の50%削減（対照区温室比）を目指した。また、果実や野菜等のポリフェノールやビタミンC等の機能性成分、食味成分、グルコースフルクトース、クエン酸等の分析を行い、甘さや酸味等の指標が既存栽培法にくらべ、20%以上の改善をめざした波長変換フィルムや高性能蓄熱資材の使用方法等の確立を目指した。

（3）研究の概要

ハウス栽培分野で太陽の光と熱を最大に活用し、ハウス内を植物生育に最適条件に維持で

【公開版】

きる蓄熱・放熱技術と光の波長を調整する技術を組合せて、潜熱蓄熱材の蓄熱効率向上および植物の光形態形成の促進で、農産物の増産と高品質化をする太陽光の熱と光を高効率に活用するハウス栽培用蓄熱資材を開発する。新技術の特徴を以下に示す。

- 1) 蓄熱材のカプセル容器を大きくして、一定温度の蓄熱容量が増大した高性能な蓄熱材。
- 2) 積層構造と近赤外吸収色素を用いて、高効率な蓄熱効果を示す高機能蓄熱材。
- 3) 大容量容器、蓄熱材注入装置、封止装置開発を行い、価格低下を実現させる。
- 4) 近赤外蛍光発光色素で植物育成に効果を示す高機能性フィルムを実現させる。
- 5) 機能性カプセルジャケットと既存蓄熱材との組合せで、様々な使用形態が可能な蓄熱材を実現させる。
- 6) 省エネ効果と農産物の増産や高品質化が同時に実現する。

(4) 実施内容

1. 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発

1-1 高性能な蓄熱資材の開発（株式会社ヤノ技研）

潜熱蓄熱材の蓄熱容量の大容量化を可能にする大容量カプセル状容器開発のために、ポリエチレン、アルミニウム、ポリエステルからなる3層構造の容器の厚みを大きくするためのカプセル容器の設計・試作や蓄熱資材の特性評価等の検討を行った。

1-2 近赤外吸収および近赤外蛍光フィルムの開発（公立大学法人大阪府立大学）

耐熱性の優れた近赤外吸収色素や近赤外蛍光色素として、金属錯体系およびスクアリウム系等の近赤外吸収色素および蛍光色素の合成、それらを用いた近赤外吸収および近赤外蛍光や赤色蛍光発光等のフィルムの作製と特性評価等の検討を行った。

1-3 近赤外吸収・蛍光フィルムおよびカプセルジャケットで機能化した高性能蓄熱資材の開発（三光ライト工業株式会社）

近赤外吸収フィルムおよび蛍光フィルム等を被覆した蓄熱資材や蓄熱資材専用機能性カプセルジャケットの試作を行った。

2. 高機能蓄熱資材製造システム装置の開発

2-1 蓄熱材自動注入装置の開発（株式会社ヤノ技研）

高性能化された蓄熱資材の製造装置として、蓄熱材の自動注入装置の開発を行った。

2-2 蓄熱材自動封止化装置の開発（株式会社ヤノ技研）

高性能化された蓄熱資材の製造装置として、蓄熱材の自動封止化装置の開発を行った。

3. 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立

3-1 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の効能評価（公立大学法人大阪府立大学、奈良県農業研究開発センター、兵庫県立農林水産技術総合センター）

波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の有無による果実や野菜等の機能性成分、食味成分、甘さや酸味の指標の評価、蓄熱資材の最適な使用方法の検討を行った。特にイチゴ栽培やトマト栽培における波長変換フィルムの果実や種子の発芽への効能について実証実験を行った。

3-2 高性能蓄熱資材による省エネ効果の評価（株式会社ヤノ技研、兵庫県立農林水産技術総合センター）

ハウス栽培における高性能蓄熱資材による省エネ効果の評価を行った。

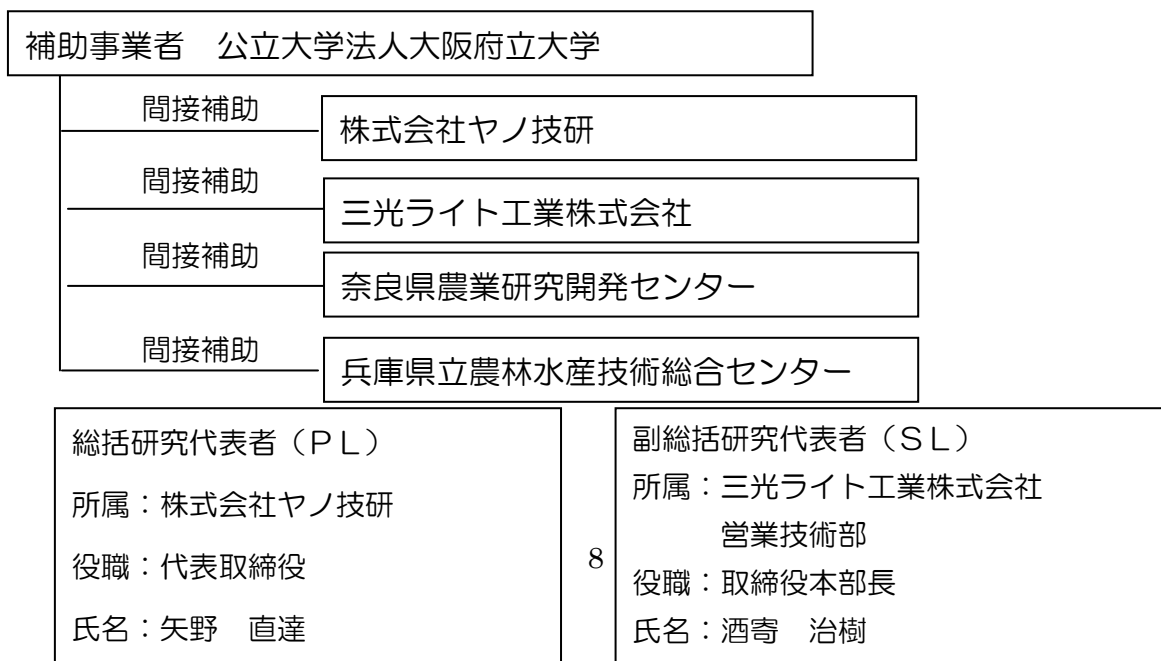
4. プロジェクトの管理・運営（公立大学法人大阪府立大学）

プロジェクトの円滑な管理・運営を行うために、総括研究代表者、副総括研究代表者、管理員、研究員、アドバイザーからなる研究調整委員会を8回開催し、研究開発進捗状況、今後の展開を協議した。再委託先に対して経費処理についての指導を行うとともに、毎月ごとに再委託先および事業管理機関での物品購入費、旅費等の経費執行書類の精査を行った。さらに、成果報告書、実績報告書等の報告書類を取りまとめた。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

研究組織



管理体制

【補助事業者】 公立大学法人大阪府立大学

管理員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--|-----------|
| 角谷 佳則 | 地域連携研究機構 研究支援課 課長 (平成27年9月～平成29年3月) | 事業管理 |
| 中嶋 淳 | 研究推進本部 研究推進課 課長 (平成29年4月～平成30年3月) | 事業管理 |
| 日高 伴紀 | 研究推進本部 研究推進課 課長補佐 | 事業管理 |
| 笹谷 幸裕 | 研究推進本部 研究推進課 | 事業管理 |

補助員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--|-----------|
| 吉田 典子 | 地域連携研究機構 研究支援課 (平成27年10月～平成28年8月) | 事業管理 |
| 辰巳 真紀 | 地域連携研究機構 研究支援課 (平成28年4月～平成28年12月) | 事業管理 |
| 松本 環 | 研究推進本部 研究推進課 (平成28年9月～平成30年3月) | 事業管理 |
| 権野 香織 | 研究推進機構 21世紀科学研究センター (平成27年9月～平成29年9月) | 事業管理 |

(2) 研究員

【補助事業者】 公立大学法人大阪府立大学

研究員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--|------------|
| 中澄 博行 | 研究推進機構 21世紀科学研究センター 特認教授 | 【1-2】【3-1】 |
| 谷森 紳治 | 大学院 生命環境科学研究科 教授 | 【1-2】【3-1】 |
| 園田 素啓 | 大学院 生命環境科学研究科 准教授 (平成29年4月～平成30年3月) | 【1-2】【3-1】 |
| 古川 一 | 大学院 生命環境科学研究科 講師 | 【1-2】【3-1】 |
| 前田 壮志 | 大学院 工学研究科 准教授 | 【1-2】【3-1】 |

【間接補助事業者】 株式会社ヤノ技研

研究員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容 (番号) |
|--------|-------|-------------------|
| 矢野 直達 | 代表取締役 | 【1-1】【2】 【3-2】 |
| 三宅 八二六 | 研究部長 | 【1-1】【2】 |

【公開版】

| | | |
|-------|---------------------------|-------------------|
| 磯辺 清 | 技術顧問 (平成27年9月～平成28年3月) | 【3-2】 【1-1】【2】 |
| 榎本 秀和 | 技術部長 (平成28年9月～平成29年9月) | 【1-1】【2】 【3-2】 |

補助員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容(番号) |
|--------|------------------------|----------|
| 北 政信 | 研究部 (平成27年12月) | 【1-1】【2】 |
| 吉田 正文 | 研究部 (平成27年12月～平成28年2月) | 【1-1】【2】 |
| 吉田 健一 | 研究部 (平成27年12月～平成28年2月) | 【1-1】【2】 |
| 佐々木 和樹 | 研究部 (平成27年12月) | 【1-1】【2】 |
| 丹原 達 | 研究部 (平成27年12月～平成28年2月) | 【1-1】【2】 |
| 青山 健太郎 | 研究部 (平成27年12月～平成28年2月) | 【1-1】【2】 |
| 金光谷 和彦 | 研究部 (平成28年9月～平成30年3月) | 【1-1】【2】 |
| 栗山 峰生 | 研究部 (平成28年10月、11月) | 【1-1】【2】 |
| 酒井 寿正 | 研究部 (平成28年11月、12月) | 【1-1】【2】 |
| 脇田 武 | 研究部 (平成28年12月～平成30年2月) | 【1-1】【2】 |
| 岸 忠之助 | 研究部 (平成28年12月～平成30年2月) | 【1-1】【2】 |
| 武内 勇貴 | 研究部 (平成28年12月～平成30年2月) | 【1-1】【2】 |
| 田中 義彦 | 研究部 (平成28年12月～平成30年2月) | 【1-1】【2】 |
| 林 耿程 | 研究部 (平成28年12月) | 【1-1】【2】 |
| 与那覇 満 | 技術部 (平成29年9月～11月) | 【3-2】 |
| 佐藤 寛 | 技術部 (平成29年11月～平成30年3月) | 【3-2】 |
| 嶋本 壽之 | 技術部 (平成29年11月) | 【3-2】 |
| 吉野 紀三男 | 技術部 (平成29年11月～12月) | 【3-2】 |
| 関浜 和夫 | 技術部 (平成29年11月) | 【3-2】 |
| 井川 宏司 | 技術部 (平成29年11月～平成30年2月) | 【3-2】 |
| 稲生 晴大 | 技術部 (平成30年2月) | 【3-2】 |
| 田所 重和 | 技術部 (平成29年4月、平成30年2月) | 【3-2】 |
| 井上 正利 | 技術部 (平成29年4月、) | 【3-2】 |
| 松本 昭男 | 技術部 (平成29年4月、平成30年2月) | 【3-2】 |
| 小嶋 潔 | 技術部 (平成29年4月、平成30年2月) | 【3-2】 |
| 山本 政男 | 技術部 (平成30年2月) | 【3-2】 |

【間接補助事業者】三光ライト工業株式会社

研究員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容(番号) |
|-------|-----------------------------------|----------|
| 酒寄 治樹 | 営業技術本部 取締役本部長 | 【1-3】 |
| 山口 鉄也 | 営業技術本部 営業技術部グループ長 | 【1-3】 |
| 栗原 健 | 営業技術本部 営業技術部 | 【1-3】 |
| 坪川 晶彦 | 営業技術本部 営業技術部 (平成27年9月～平成28年3月) | 【1-3】 |
| 小宮山祐樹 | 営業技術本部 営業技術部 (平成27年9月～平成28年3月) | 【1-3】 |

【公開版】

| | | |
|-------|------------------|-------|
| 伊林 幸広 | 経営本部 人事総務部サブリーダー | 【1-3】 |
| 滝本 明夫 | 経営本部 経理部サブリーダー | 【1-3】 |

【間接補助事業者】 奈良県農業研究開発センター

研究員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容（番号） |
|-------|-------------------------------------|----------|
| 西本 登志 | 研究開発部育種科・総括研究員 | 【3-1】 |
| 東井 君枝 | 研究開発部育種科・指導研究員 | 【3-1】 |
| 矢奥 泰章 | 研究開発部育種科・主任研究員 (平成27年9月～平成28年3月) | 【3-1】 |
| 根本 明季 | 研究開発部育種科・主任研究員 (平成27年9月～平成29年3月) | 【3-1】 |
| 厚見 治之 | 研究開発部育種科・主事 (平成29年4月～平成30年3月) | 【3-1】 |

【間接補助事業者】 兵庫県立農林水産技術総合センター

研究員

| 氏名 | 所属 役職 | 実施内容（番号） |
|-------|----------------------------------|------------|
| 青山 喜典 | 農産園芸部 研究主幹 (平成27年9月～平成29年3月) | 【3-1】【3-2】 |
| 松浦 克彦 | 農産園芸部 研究主幹 (平成29年4月～平成30年3月) | 【3-1】【3-2】 |
| 西野 勝 | 農産園芸部 主任研究員 (平成28年4月～平成29年3月) | 【3-1】【3-2】 |
| 藤原 英世 | 農産園芸部 主査 (平成27年9月～平成29年3月) | 【3-1】【3-2】 |
| 渡邊 圭太 | 農産園芸部 研究員 | 【3-1】【3-2】 |

(3) 委員会等

実用化をめざした本研究開発を推進・調整するために、各参加機関の研究員等からなる研究調整委員会を設置した。なお、研究調整委員会には、随時、各参加機関の関係者の方々がオブザーバーとしても参加できる委員会とした。

| 氏名 | 所属 役職 | 就任期間 |
|-------|--|-----------------|
| 中澄 博行 | 公立大学法人大阪府立大学 研究推進機構 21世紀科学研究センター 特認教授 | 平成27年9月～平成30年3月 |
| 谷森 紳治 | 公立大学法人大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 教授 | 平成27年9月～平成30年3月 |
| 園田 素啓 | 公立大学法人大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 准教授 | 平成29年4月～平成30年3月 |

【公開版】

| | | |
|--------|------------------------------------|-------------------------|
| 古川 一 | 公立大学法人大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 講師 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 前田 壮志 | 公立大学法人大阪府立大学大学院 工学研究科 准教授 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 角谷 佳則 | 公立大学法人大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 課長 | 平成 27 年 9 月～平成 29 年 3 月 |
| 中嶋 淳 | 公立大学法人大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 課長 | 平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月 |
| 日高 伴紀 | 公立大学法人大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 課長補佐 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 笹谷 幸裕 | 公立大学法人大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 矢野 直達 | 株式会社ヤノ技研 代表取締役（委員長） | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 榎本 秀和 | 株式会社ヤノ技研 技術部長 | 平成 28 年 9 月～平成 29 年 9 月 |
| 三宅 八二六 | 株式会社ヤノ技研 研究部長 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 磯辺 清 | 株式会社ヤノ技研 技術顧問 | 平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月 |
| 酒寄 治樹 | 三光ライト工業株式会社 営業技術本部 取締役本部長（副委員長） | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 山口 鉄也 | 三光ライト工業株式会社 営業技術本部 営業技術部グループ長 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 栗原 健 | 三光ライト工業株式会社 営業技術本部 営業技術部 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 坪川 晶彦 | 三光ライト工業株式会社 営業技術本部 営業技術部 | 平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月 |
| 小宮山祐樹 | 三光ライト工業株式会社 営業技術本部 営業技術部 | 平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月 |
| 伊林 幸広 | 三光ライト工業株式会社 経営本部 人事総務 部サブリーダー | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 滝本 明夫 | 三光ライト工業株式会社 経営本部 経理部 サブリーダー | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 西本 登志 | 奈良県農業研究開発センター研究開発部育種科 総括研究員 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 東井 君枝 | 奈良県農業研究開発センター研究開発部育種科 指導研究員 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 矢奥 泰章 | 奈良県農業研究開発センター研究開発部育種科 主任研究員 | 平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月 |
| 根本 明季 | 奈良県農業研究開発センター研究開発部育種科 主任研究員 | 平成 27 年 9 月～平成 29 年 3 月 |
| 青山 喜典 | 兵庫県立農林水産技術総合センター 農産園芸 部 研究主幹 | 平成 27 年 9 月～平成 29 年 3 月 |
| 松浦 克彦 | 兵庫県立農林水産技術総合センター 農産園芸 部 研究主幹 | 平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月 |
| 藤原 英世 | 兵庫県立農林水産技術総合センター 農産園芸 部 主査 | 平成 27 年 9 月～平成 29 年 3 月 |
| 渡邊 圭太 | 兵庫県立農林水産技術総合センター 農産園芸 部研究員 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 小田 文明 | クボタアグリサービス株式会社 取締役 農業 施設部長 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |
| 吉田 勝平 | 高知大学名誉教授 | 平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月 |

1-3 成果概要

(1) 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発

ハウス栽培分野で求められている大容量の蓄熱資材を実現するために、大容量化は、容器の厚みや横幅を大きくすることで、高機能化は、近赤外吸収フィルムや遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットの装着で実現を目指した。主な最終技術目標値としては、①蓄熱資材の蓄熱容量（203 kJ/枚または406 kJ/枚）を35%以上、蓄熱効果を現行より50%以上改善、②遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットは、色素含有率 0.03～0.08 wt%、蛍光量子効率 30%以上、蛍光ピーク波長 700～800 nm または吸収波長 700～900 nm の特性をえることを目指した。

(達成状況)

大容量カプセル状容器は、ポリエチレン、アルミニウム、ポリエステルからなる3層構造の容器を設計し、新形状の厚さ 40.5 mm のカプセルや横幅の長さが2倍の大容量カプセル容器を試作し、蓄熱容量および蓄熱効果を50%以上達成した。波長変換フィルムは、遠赤色を含む近赤外領域で蛍光を示し、蛍光色素含有率 0.03～0.05wt%、蛍光量子収率 47%以上、蛍光ピーク波長が 668～767nm の特性を示すものが得られた。また、近赤外吸収ジャケットも試作し、これらジャケットやフィルムを蓄熱資材に装着し、近赤外吸収フィルムによる集熱効果も確認し、技術目標はすべて達成された。また、蓄熱材の熱伝導性を大きく改造する技術も開発した。

(2) 高機能蓄熱資材製造システム装置の開発

低コスト化のための製造装置として、蓄熱材の自動注入装置や蓄熱材容器の封止化装置を一体化した製造装置を設計、試作し、量産プラントの運転条件を最適化し、テスト生産の実現を目指した。主な最終目標値としては、①蓄熱材をカプセル容器に定温で15秒以内の充填や注入口洗浄、密栓等を10秒以内での自動化、②カプセルコストを70%にコストダウンすることを目指した。

(達成状況)

潜熱蓄熱材自動注入封止装置を設計・試作し、プラントの配管等の断熱、過熱と温度制御方法の改良を実施し、量産運転条件でB1容器に蓄熱材の最大充填量（2kg）を1枚当たり平均14.4秒以内、密栓時間を1枚当たり平均9秒を達成し、生産性の改良でカプセルコス

トが想定の60%にコストダウンされ、テスト生産が可能となった。

(3) 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立

高性能蓄熱資材による燃料費削減による省エネ効果の検証や高性能蓄熱資材や波長変換フィルム設置方法や果実等への効能を以下の目標値を設定し、実証実験での評価を目指した。主な最終目標値としては、最適な使用法による①蓄熱資材によるハウス内の最大昇温抑制効果8℃以上（対照区温室比）、温室使用重油の50%削減（対照区温室比）、②波長変換フィルムによる果実や野菜等の機能性成分や食味成分が既存栽培法に比べ、20%以上の改善を目指した。

(達成状況)

現行品のD1型に比べ蓄熱容量が2倍のB1b型大容量化蓄熱資材では、ハウス内の最大昇温抑制効果が最大7℃（対照区温室比）、温室使用燃料の35%の省エネ効果を達成することができたが、さらに大容量のB2b型では、集熱効果を向上させるために装着した近赤外吸収フィルムの接着性が不十分となり、省エネ効果の検証まで至らなかった。波長変換フィルムの効率的な設置方法を見出し、イチゴ栽培では、遠赤色蛍光フィルムの使用で収穫量の11%の増加傾向（対照区比較比）や総ポリフェノール含量の22%増加（対照区比較比）、トマト栽培では、近赤外波長変換フィルムでトマトのリコピン含量が30%増加（対照区比較比）、さらにトマト種子の発芽試験では、無処理区に比べ、近赤外蛍光フィルムで発芽促進される機能を見出した。

(4) 外部発表等の状況

以上の成果の一部について、特許出願2件、展示会展示1件、報道発表2件を行った。

・特許出願 2件

特許出願番号：2018-018127 出願日:2018年2月5日

「蓄熱資材」三光ライト工業株式会社、株式会社ヤノ技研、

特許出願番号：2018-019719 出願日:2018年2月7日

「蓄熱材組成物」株式会社ヤノ技研

・展示会での発表

農園芸用の波長変換資材の開発

蓄熱材利用による省エネ施設栽培技術の提案

(第1回関西農業資材EXPO (平成29年4月5日~7日) 会場: インテックス大阪)

• 新聞等

「もう会社には頼らない」 NHK (「ルソンの壺」平成29年10月29日放映)

「蓄熱でハウス暖房費抑制」神戸新聞 (平成30年1月30日掲載)

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

公立大学法人大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課

課長補佐 日高 伴紀

Tel: 072-254-9686 Fax: 072-254-9874

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1番1号

E-mail: thidaka@iao.osakafu-u.ac.jp

URL: [http:// www.osakafu-u.ac.jp/](http://www.osakafu-u.ac.jp/)

第2章 本論

1. はじめに

温室栽培農業においてハウス内環境を維持するため冷暖房設備が使用されているが、当該設備運転に必要な燃料の価格の変動が生産コストに及ぼす影響が大きいため、省エネのために冷暖房設備に頼らずハウス内を最適温度に維持できる蓄熱・放熱技術や太陽光（自然光）の波長を最適な波長に変換し、光合成の促進と光形態形成の促進を図るエネルギー効率を高める部材の開発が求められている。

2. 本課題の研究内容

本研究開発では、太陽の光と熱を最大限に活用し、ハウス内を最適温度に維持できる蓄熱・放熱技術と光の波長を調整する技術を組合せて、潜熱蓄熱材の蓄熱効率の向上や植物の光形態形成を促進する高機能な蓄熱資材の開発を目指して、蓄熱資材容器の大容量化や量産化のためのプラントの試作、近赤外吸収フィルムや遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットの装着を検討した。さらに、高性能蓄熱資材による省エネ効果の検証や高性能蓄熱資材や波長変換フィルム設置方法や果実等への効能をイチゴ、トマト栽培等で実証試験を行った。

【公開版】

本課題で開発した大容量の蓄熱容器や量産プラントの設計・試作を株式会社ヤノ技研が担当し、近赤外吸収フィルム等の大容量容器への被覆または脱着可能なカプセルジャケットの開発を三光ライト工業株式会社が担当した。また、近赤外蛍光色素やその波長変換フィルムの開発やイチゴやトマト果実の機能成分の分析を公立大学法人大阪府立大学が担当した。トマト栽培やイチゴ栽培における波長変換フィルム資材の実証実験を主としてそれぞれ兵庫県立農林水産技術総合センターや奈良県農業研究開発センターが担当した。

3. 本課題の成果

(1) 高性能なハウス栽培用蓄熱資材の開発

1-1 高性能な蓄熱資材の開発

潜熱蓄熱資材の蓄熱容量の大容量化を可能にするための大容量カプセル状容器開発のために、ポリエチレン、アルミニウム、ポリエステルからなる3層構造の容器の設計を行い、厚さ40.5 mmのB2b型や横幅が2倍、厚さ30mmのB1b型大容量カプセル状容器の試作（写真1および2）を行った。また、B型およびD型容器を共通のフックで吊れるように容器を改良した。さらに、予備的な段積、段積および運送テストとして、B型容器を用いて実施し、その安全性を確認した。新形状大容量カプセル状容器を40℃～90℃での加温で、3ヶ月間放置の密栓テストで漏れのないことを確認した。さらに、同じ期間の蓄放熱テストも確認した。



写真1 左：B2b型カプセル平面 右：B1b型カプセル平面
写真2 左：B2b型カプセル断面 右：B1b型カプセル断面

B型および現行D型容器を共通のフックで吊れることで取付作業時間の短縮、潜熱蓄熱資材の蓄熱容量の大容量化と大容量カプセル状容器の高性能化を同時に実現するために、注入口を2つとして中央部分に凹みをつけた大容量カプセル（写真3）とジャケットを合体利用す

るための大容量カプセル容器用の金型の作製とその容器の成形を行い、目標値をすべて達成した。また、これまでのイオン交換水から上水が利用できる配合技術を開発し、大容量カプセルの熱伝導率向上を達成した（図 1）。上水利用によりコスト低減も図れた。

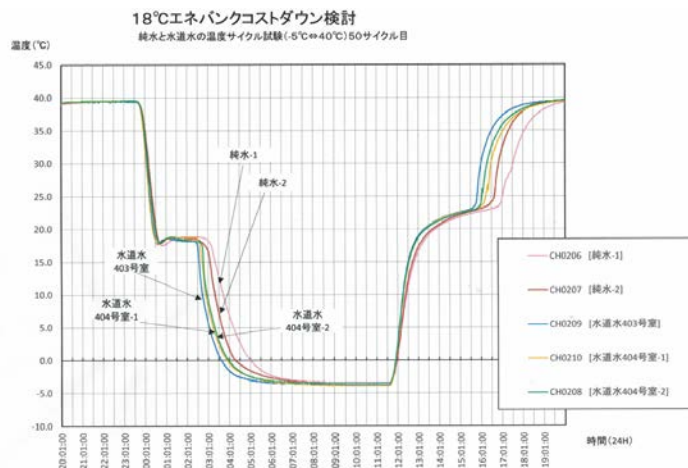


写真 3 改良された大容量カプセル (B2b 型) 図 1 純水と水道水による蓄熱資材 (B2b 型) の温度サイクル試験

1-2 近赤外吸収および近赤外蛍光フィルムの開発

耐熱性の優れた近赤外蛍光色素として、ホウ素錯体系蛍光色素およびスクアリリウム系近赤外蛍光色素を開発し、それら蛍光色素を用いた遠赤色光領域も含む近赤外蛍光を示す波長変換フィルムの作製と特性評価等を検討した。作製したフィルムを写真 4 に示す。

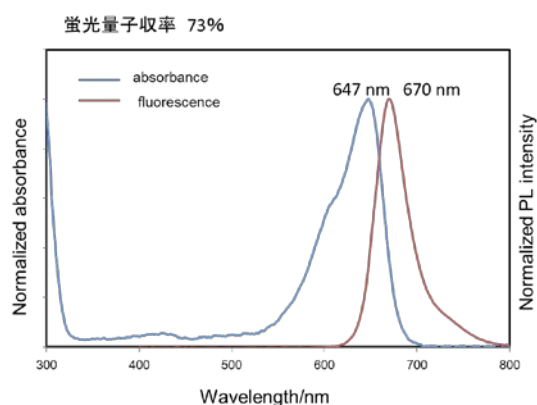


写真 4 作製した遠赤外・近赤外蛍光色素を含む波長変換フィルム 図 2 ホウ素錯体系色素の吸収・蛍光スペクトル (クロロホルム中)

開発したホウ素錯体系蛍光色素は融点が 276-279 °Cあり、溶液中で吸収主波長は 647 nm、モル吸光係数 9.61×10^4 、蛍光波長が 630~750 nm、蛍光量子効率 73%のものが

得られ（図 2）、フィルム中でもほぼ同様な波長領域で、吸収・蛍光を示し、蛍光量子収率は 58%であった（図 3）。また、スクアリリウム系近赤外蛍光フィルムの光学特性を図 4 に示す。蛍光主波長が 767nm、蛍光量子効率 47%のものが得られ、遠赤色光領域も含む近赤外光領域での波長変換を可能とする波長変換資材が得られた。これらフィルムの耐熱性、蛍光量子効率等の当初の目標値を達成した。

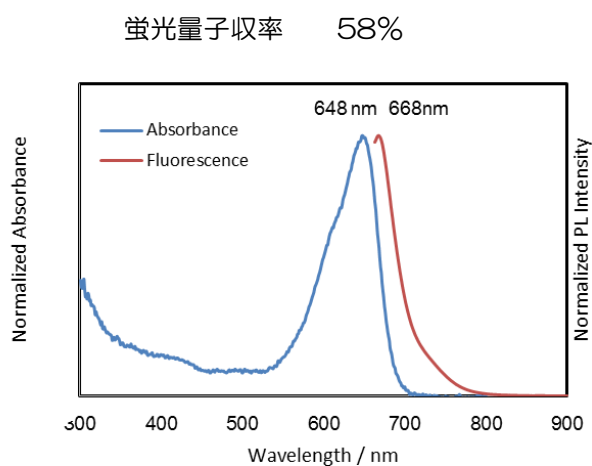


図 3 ホウ素錯体系色素を含む波長変換フィルムの吸収・蛍光スペクトル

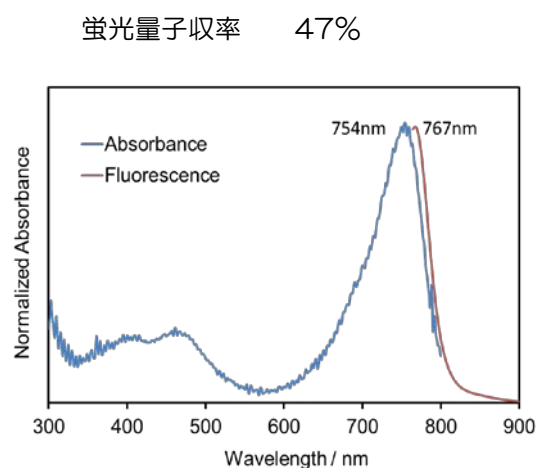


図 4 スクアリリウム系色素を含む波長変換フィルムの吸収・蛍光スペクトル

遮熱用の近赤外吸収フィルムは、フタロシアニン系近赤外吸収色素を用いて作製した（写真 5）。



写真 5 近赤外吸収フィルム

また、波長変換フィルムの耐光性について、キセノンランプの疑似太陽光（AM1.5、6 時間照射）照射下で蛍光フィルム中の蛍光色素の残存率を吸収スペクトルから求め、耐光性の評価を行った。特に、既知のホウ素錯体系蛍光色素を用いた蛍光フィルムとの相对比较から、

開発したホウ素錯体系フィルムの耐光性は、著しく改善され、優れた耐光性を示すことが分った（図5）。

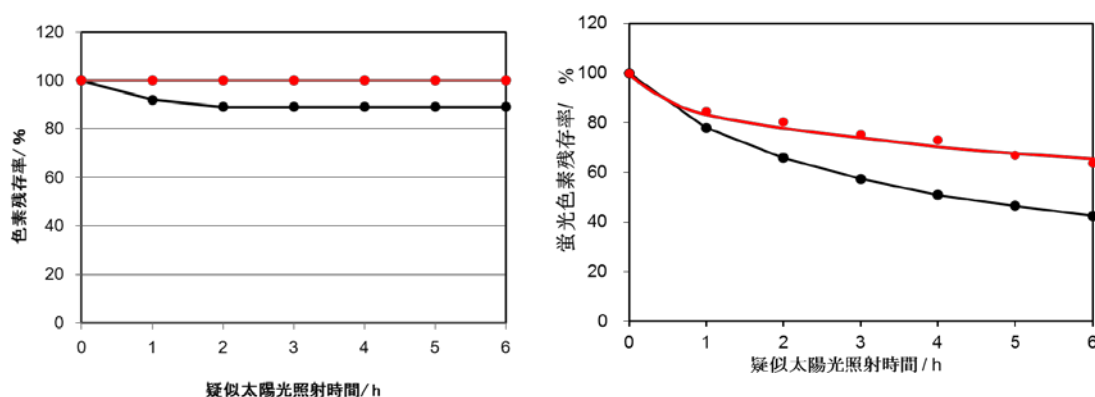


図5 波長変換フィルムの耐光性（赤色：開発した色素、黒色：既知の色素、左側：ホウ素錯体系蛍光色素、右側：スクアリリウム系蛍光色素）

1-3 近赤外吸収・蛍光フィルムおよびカプセルジャケットで機能化した高性能蓄熱資材の開発

近赤外吸収フィルムおよび蛍光フィルム等を被覆した蓄熱資材や蓄熱資材専用集熱または蛍光カプセルジャケットの試作を検討するために、カプセルジャケットの金型を製作し（写真6）、適正材料を用いてカプセルジャケットの成形を行い、現行品や大容量化した蓄熱資材（200枚）に集熱ジャケットを装着した。また、青色蛍光ジャケットも作製した（写真7および8）。ジャケットの特性評価として、蓄熱資材に集熱カプセルジャケットを装着した時のカプセルジャケット表面の温度を測定した結果、その表面温度は、装着していない蓄熱資材の表面温度より6℃高く、集熱効果は確認されたが、蓄熱資材の内部温度の上昇には至らなかった。原因は、ジャケットと蓄熱資材本体との間の空気層が断熱層となっていることが示唆された。次に、近赤外吸収色素や近赤外発光色素含有フィルムをそれぞれ試作製作し蓄熱資材にコロナ放電処理装置を活用してラッピングした。また、近赤外吸収色素含有塗膜で蓄熱資材容器表面に塗布も行った。これらの試料にレフランプを用いて光照射し、表面温度、蓄熱資材内部（蓄熱材が溶融した状態での）の温度を測定し、ラッピングや塗布していないものと比較し、近赤外吸収色素含有フィルムや塗布膜で蓄熱資材（蓄熱材が溶融した状態の



写真6 ジャケットの金型



写真7 集熱カプセルジャケットの成形品
(左側：成形品、右側：蓄熱資材に装着した状態)

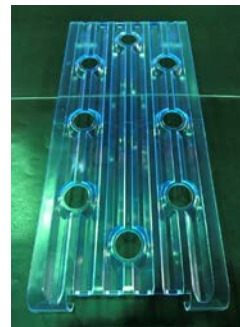
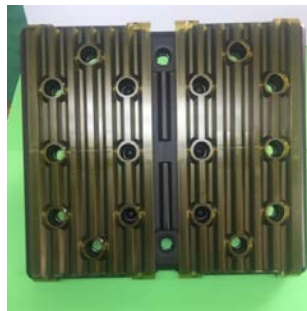


写真8 機能性フィルムを装着したB1b型容器(左)、B2b型(中央)容器と蛍光ジャケット(右)

内部で 2.5~3.7℃高い結果が得られた(図6)。8月に直射日光のもとで、集熱カプセルジャケットを装着した蓄熱資材、近赤外吸収色素含有フィルム被覆蓄熱資材、未処理の蓄熱

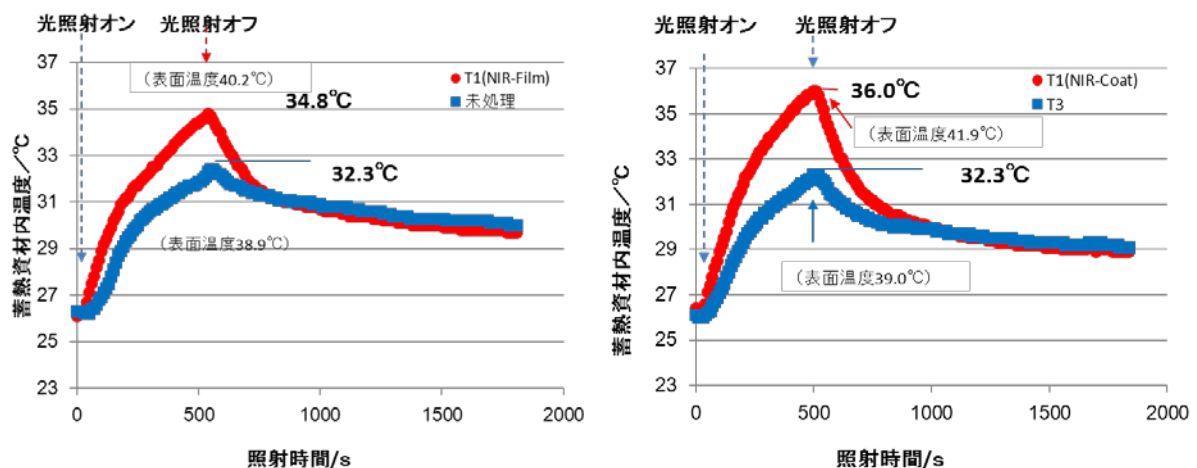


図6 近赤外吸収色素含有フィルムおよび塗布膜による蓄熱資材の内部温度の影響

(左側：近赤外吸収色素含有フィルム、右側：近赤外吸収色素含有塗布膜、赤色：フィルムまたは塗布膜有、青色：フィルムまたは塗布膜無)

資材で比較実験を行ったところ、集熱フィルムで被覆した蓄熱資材で3.6℃の内部温度の上昇が認められたが、ジャケット装着では、蓄熱資材の内部温度は、未処理以下の温度を示した（図7）。

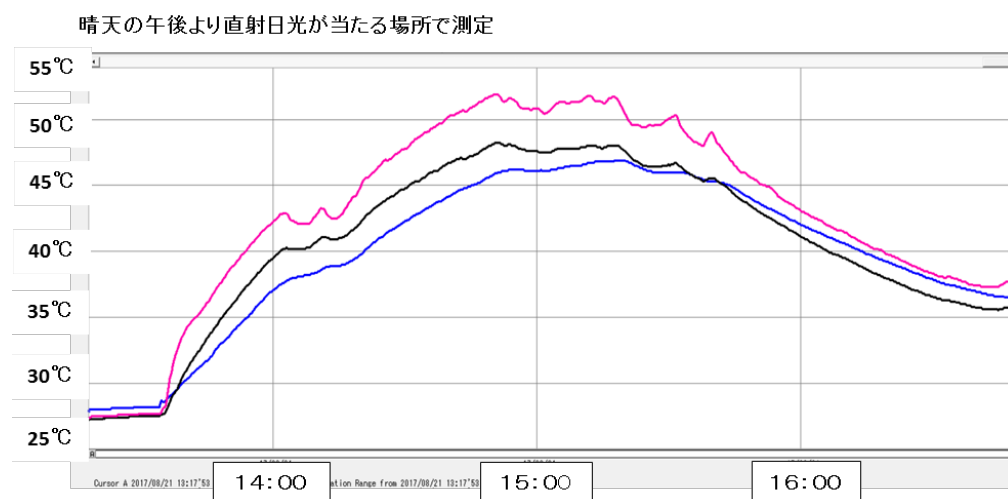


図7 直射日光下で集熱フィルムおよび集熱ジャケットによる蓄熱資材の内部温度の影響
 （赤色：集熱フィルム装着蓄熱資材、黒色：未処理の蓄熱資材、青色：集熱ジャケット装着蓄熱資材）

そこで、この試料にレフランプを用いて光照射した結果（図8）、その表面温度は、装着していない蓄熱資材の表面温度より6℃高く、ジャケットの集熱効果は確認されたが、蓄熱資材の内部温度の上昇には至らなかった。原因は、ジャケットと蓄熱資材本体との間の空気層が断熱層となっていることが示唆された。

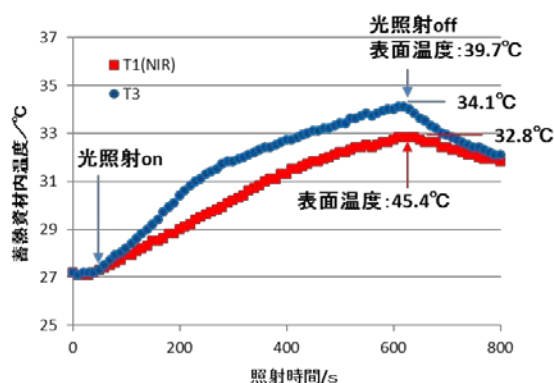


図8 近赤外吸収色素含有ジャケットによる蓄熱資材の内部温度の影響
 （赤色：近赤外吸収含有ジャケット、青色：ジャケット無）

(2) 高性能蓄熱資材製造システム装置の開発

2-1 蓄熱材自動注入装置の開発

高性能化された蓄熱資材の製造装置として、カプセル容器への蓄熱材の自動注入装置を設計、試作を行った。装置を写真9に示す。タンク攪拌機の改良やパイプラインの保温加温の改良工事を行い、B1b型カプセル、B2b型カプセル、D1b型カプセルを用いて、スムーズな注入を実現し、いずれも技術目標の15秒以内に充填を完了することを確認、技術目標値を達成した(表1)。

表1 開発した蓄熱材自動注入封止装置の運転性能評価

| No. | カプセル種類 | 蓄熱材温度 | テスト結果 | | | 備考 |
|-----|--------|-------|--------|-----------------|---------------|------------------------|
| | | | 蓄熱材充填量 | 充填時間※ (秒/4枚) | 密栓時間 (秒/枚) | |
| 1 | B1-b | 18℃ | 2kg | 50.6 | 9 | 充填時間・密栓時間は複数回のテスト結果の平均 |
| 2 | B2-b | 18℃ | 3kg | 58.9 | 9 | |
| 3 | D1-b | 18℃ | 1kg | 25.7 | 9 | |

2-2 蓄熱材自動封止化装置の開発

高性能化された蓄熱資材の製造装置として、蓄熱材が注入された後のカプセル容器を自動的に封止する装置を設計、試作を行った。装置を写真10に示す。超音波溶着機2台を設置した封入装置で、密栓の超音波ホーンの改良やカプセル移動時のズレの発生を栓封止装置のラインの材質を変えるなどの装置の改良を行い、カプセル容器の注入口洗浄、栓部品の設置、密栓を平均9秒で完了する動作確認し、技術目標値を達成した(表1)。



写真9 蓄熱材封入を含む蓄熱資材の自動製造装置



写真10 自動封止装置部分

(3) 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の使用法の確立

3-1 波長変換フィルム、高性能蓄熱資材の効能評価

開発した蓄熱資材の設置方法や波長変換フィルムの効率的な設置方法について検討を行った。また、波長変換フィルムの有無によるイチゴ栽培やトマト栽培の機能成分含量への影響について検討を行った。

(i) 蓄熱資材や波長変換フィルムの設置方法



写真 11 大容量蓄熱資材の中央部分と S 字フックを用いた設置状況

写真 11 に示すように、蓄熱資材容器の中央部分を凹み部分に S 字フックで連結して吊れるようにして、取付作業時間を大幅に短縮した。

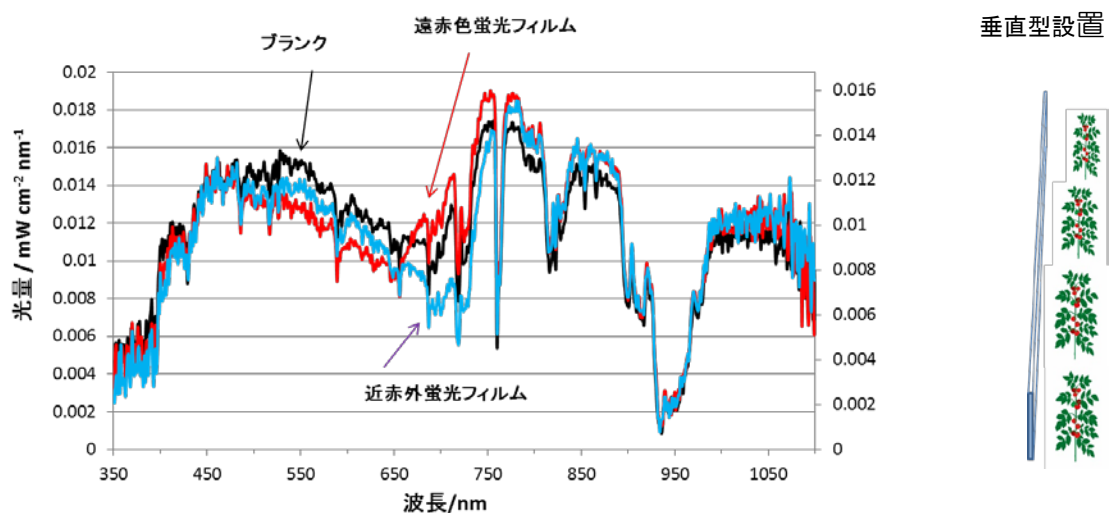


図 9 太陽光による垂直型設置した波長変換フィルムの評価結果（平成 28 年 7 月 29 日 13 : 30 ~ 14 : 30）

波長変換フィルムの適切な設置方法として、果実に対して真横に置く垂直設置または下に置く反射型設置が効果的であることを波長変換特性の実測から明らかにした。図 9 に示されるように遠赤色蛍光フィルムで 680nm 付近の光量の増加が確認された。

(ii) トマト栽培における波長変換フィルムの効能

閉鎖型育苗装置（苗テラス（25–19℃、明暗 12h/12h））の光源（Hf 蛍光灯(32W 昼白色；Panasonic FHF32Ex-N-H) 1 段あたり 6 本)を近赤外波長変換フィルムで覆い、直下で発芽させて発芽率を調査した。その結果、近赤外波長変換フィルム（FR 区）では、対照区に比べ発芽率が 10%以上高くなったが、対照区の発芽率は 44.4%と 5 割を切った（図 10）。供試した種子トマト「ソプラノ（サカタ）」が催芽処理済みのものであったため、保管中に発芽率が急速に低下したものと考えられる。

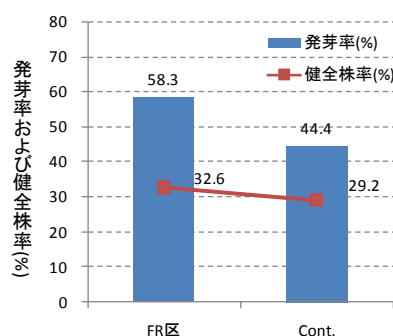


図 10 波長変換フィルムによる発芽率の差(2016/2/24)

写真 12 のように様々な波長変換フィルムを設置し、トマト果実の赤色成分で機能成分でもあるリコピン含量を調査した。トマト栽培における波長変換フィルムの効能評価は、‘ごほうび（サカタ種苗）’や‘桃太郎ファイト’の品種を用いて、トマト果実の着色直前に果実の真横に垂直に波長変換フィルムを設置し、完熟に達した時点で、一斉に収穫し、フィルムの有無によるリコピン含量を定量した。結果を図 11 に示す。ハウス内部でも日当たりの良



写真 12 トマト栽培における各種波長変換フィルムの設置状況

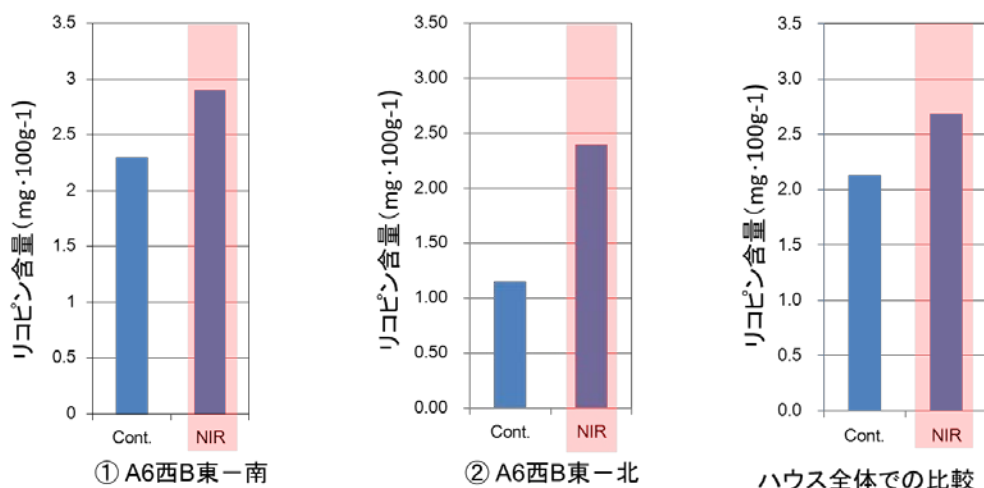


図 11 近赤外蛍光フィルム（NIR）がトマト果実のリコピン含量に及ぼす影響

い場所（①）や日照時間が少なくなる場所（②）でも、近赤外蛍光フィルム（NIR）により、リコピン含量が増加し、特に日照時間が少なくなる場所で顕著な差として現われ、ハウス全体の様々な試験区の平均値でも約 30%リコピン含量が対照区に比べ増加していることが分かった。光によって果実の機能成分が影響を受けたか否かを判定するためにリアルタイム PCR システムを用いて、同一条件で最もリコピン含量が増加した青色蛍光フィルムで検証した。図 12、図 13 に示すように、波長変換フィルムの設置で PDSmRNA や ZDSm-RNA のコピー数が増加しており、光ストレスによるリコピンの増加がリアルタイム PCR システムで確認された。

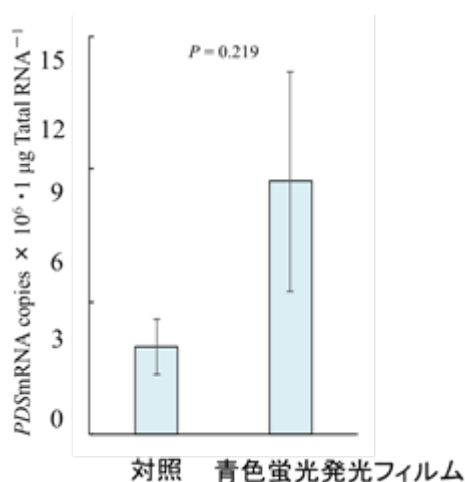


図 12 波長変換フィルムがトマト果実の PDSmRNA のコピー数におよぼす影響

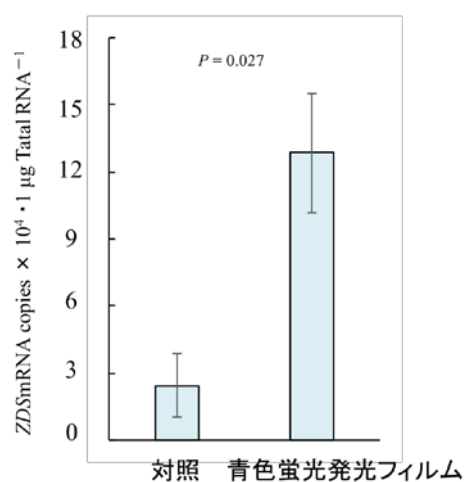


図 13 波長変換フィルムがトマト果実の ZDSmRNA のコピー数におよぼす影響

(iii) イチゴ栽培における波長変換フィルムの効能

使用法として、黒マルチの上に波長変換フィルムを開花、受粉後に敷設したが、効果が不明瞭なため、写真 13 にあるように茎に対して垂直に設置（平成 29 年 11 月 20 日）し、12 月 19 日から週 2~3 回の頻度で処理区別に収穫し、2 月 19 日まで果実重量、糖度、果実の色差等を調査した。



写真 13 イチゴ栽培での波長変換フィルムの設置状況

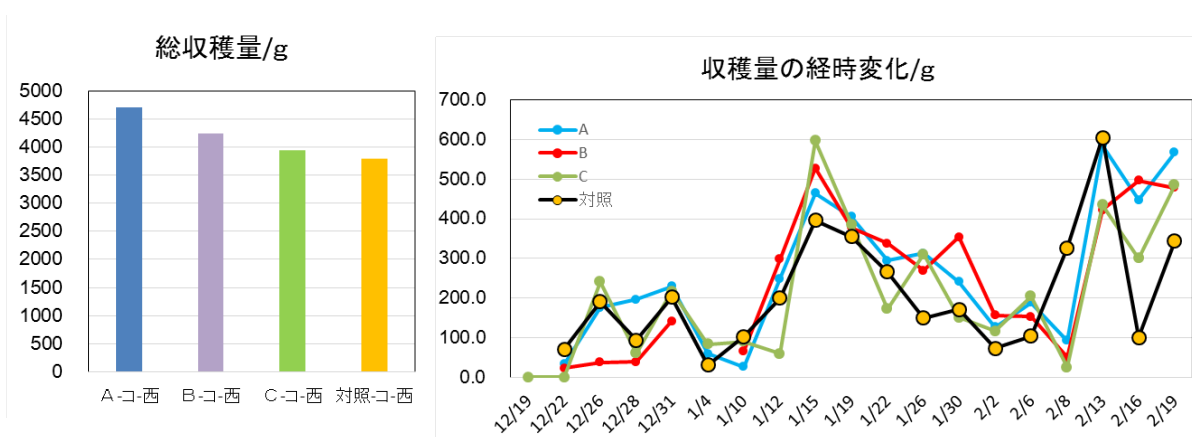


図 14 イチゴ栽培における波長変換フィルムの効果（品種：古都華、A：青紫蛍光フィルム、B：遠赤色蛍光フィルム、C：近赤外蛍光フィルム）

波長変換フィルムにより“古都華”果実の総収穫量が増大する傾向が認められ、特に青紫蛍光フィルムAの設置で対照区に比べ最大 24%増加する傾向が、遠赤色蛍光フィルムでも 11%増加する傾向が認められた。収穫量は、日々変化するが、対照区に比べ、期間中概ね波長変換フィルム設置区で多い結果となった（図 14）。また、イチゴ果実の機能成分である総

ポリフェノール含量も、対照区に比べ波長変換フィルムを設置した場所で22～27%増加していることが分った（図15）。“古都華”果実の色への影響は、L*a*b*表色系で「L*」や「b*」で顕著な違いが認められ、やや明度が低下して、黄色味も低下するような結果であった。

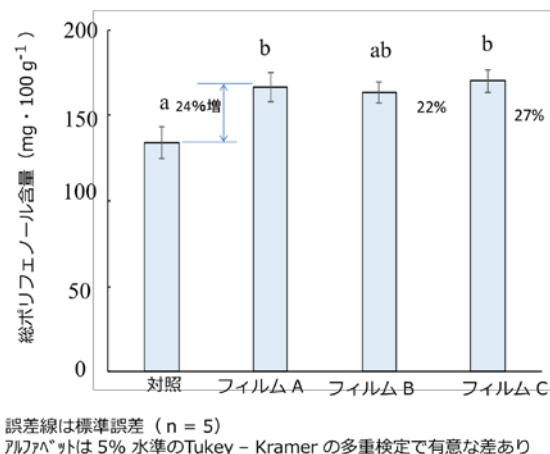


図15 波長変換フィルムが‘古都華’果実の総ポリフェノールにおよぼす影響（品種：古都華、A：青紫蛍光フィルム、B：遠赤色蛍光フィルム、C：近赤外蛍光フィルム）

3-2 高性能蓄熱資材による省エネ効果の評価

大容量蓄熱資材（B2b型）にカプセルジャケットを装着した高性能蓄熱資材と慣行蓄熱資材（D型）をそれぞれ100㎡パイプハウスに設置し、蓄熱資材を設置しない同一規格のハウスを対照区として、暖房機の燃油使用量を比較し、省エネ効果を調査した。

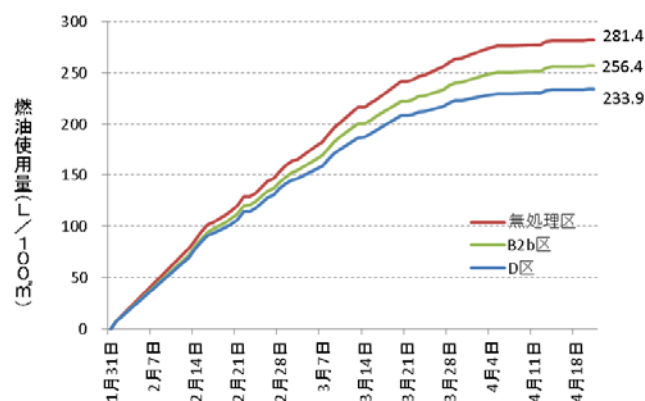


図16 蓄熱資材等利用ハウスにおける燃油使用量の推移

蓄熱資材を用いた栽培試験は平成28年12月から開始したが、旬別の燃油使用量は高性能蓄熱資材（B2b型）の設置区で最大14.9%、慣行区（D型）で21.7%の燃料の削減が確認された。なお、試験期間を通じた燃油節減率はB2b区で8.9%、D区で16.9%であり

(図 16)、気象条件で大きく影響される。B2b区およびD区とも、トマトの生育および光合成能力に対する影響は少ないものと考えられた(図 17、図 18)。

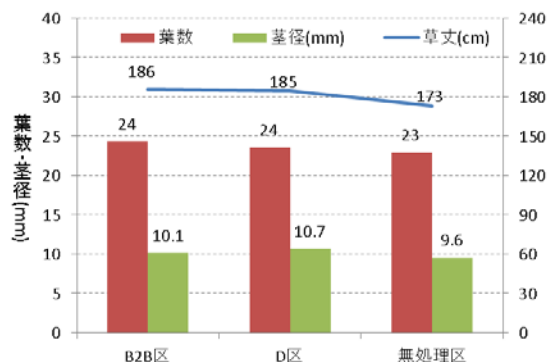


図 17 蓄熱資材等の使用がトマトの生育に及ぼす影響

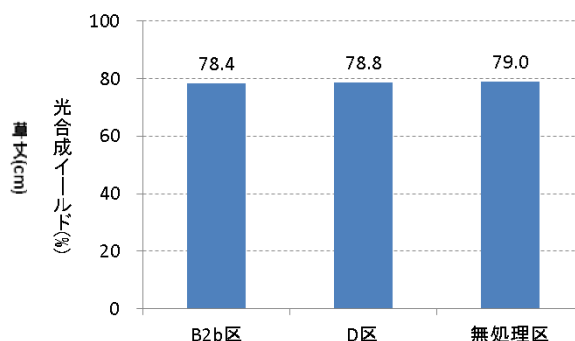


図 18 蓄熱資材等の使用がトマトの光合成能力に及ぼす影響

また、イチゴ栽培の温室で省エネ効果としては、高知県中土佐町での平成 29 年 11 月～平成 30 年 3 月末の期間で B1b 型蓄熱資材を設置した民間ハウス(面積: 7a)(写真 14)で全期間の灯油使用量が 1564 ℓ(推測分も含む)は、同地区同規模の他の温室での平均灯油使用量(1600 ℓ)が例年の 2 倍を使用している現状を踏まえ、平均使用量の 1.5 倍を対照区での使用量(2400 ℓ)と推定すると省エネ効果は 34.8%となった。



写真 14 高知県中土佐町で B1B 型蓄熱資材を設置したイチゴ栽培温室

最終章 全体総括

1. 複数年の研究開発成果

温室栽培農業においてハウスの冷暖房設備の維持運転コスト削減（省エネ対策）や生産効率の向上する材料開発の基盤を担う中小製造業の基盤技術の高度化を目的として、太陽光の熱と光を効率的に利用する低コスト省エネ化技術や高機能化技術を目指して、大容量の蓄熱資材や波長変換資材の開発を行った。

蓄熱資材の大容量化は、主に容器の厚みや横幅を大きくすることで実現し、蓄熱容量や蓄熱効果を現行より 50%以上改善、高機能化は、近赤外吸収フィルムや遠赤色～近赤外光領域で蛍光を示す波長変換フィルムやジャケットへの装着で実現した。波長変換フィルムとしては、蛍光量子収率 47%以上、蛍光ピーク波長が 668～767nm の特性を示すものが得られた。また、近赤外吸収ジャケットも試作し、これらジャケットやフィルムを蓄熱資材に装着し、近赤外吸収フィルムや塗膜による集熱効果も確認した。

低コスト化のための製造装置として、潜熱蓄熱材自動注入封止装置を設計・試作し、種々改良して量産プラントの運転条件を最適化し、量産運転条件で B1b 容器に蓄熱材の最大充填量（2kg）を 1 枚当たり平均 14.4 秒以内、密栓時間を 1 枚当たり平均 9 秒を達成し、カプセルコストが想定 60% にコストダウンされ、テスト生産が可能となった。

高性能蓄熱資材による燃料費削減による省エネ効果の検証や高性能蓄熱資材や波長変換フィルム設置方法や果実等への効果を実証実験での評価を実施した。現行品の D1 型に比べ蓄熱容量が 2 倍の B1b 型大容量化蓄熱資材では、ハウス内の最大昇温抑制効果が最大 7℃（対照区温室比）、温室使用燃料の 35% の省エネ効果を達成することができたが、大容量の B2b 型では、集熱効果を向上させるために装着した近赤外吸収フィルムの接着性が不十分となり、省エネ効果の検証までに至らなかった。また、波長変換フィルムの効率的な設置方法を見出し、イチゴ栽培では、遠赤色蛍光フィルムの使用で収穫量の 11% の増加傾向（対照区比較比）や総ポリフェノール含量の 22% 増加（対照区比較比）、トマト栽培では、近赤外波長変換フィルムでトマトのリコピン含量が 30% 増加（対照区比較比）、さらにトマト種子の発芽試験では、無処理区に比べ、近赤外蛍光フィルムで発芽促進される機能を見出した。

2. 研究開発後の課題・事業化展開

（1）研究開発後の課題

【公開版】

これまでの研究開発で目標とした材料や特性値はほとんど達成できたが、厚みを増した大容量容器の高機能化のために装着する近赤外吸収フィルムや波長変換フィルムの接着の耐久性や蛍光色素のさらなる耐光性の改善が実証実験の結果で必要となり、実用化に向けて最適な材料選択、接着方法の改善、蛍光色素の改善等の克服しなければならない課題があるので、引き続き現体制で補完研究を続けながら、それぞれの課題に対する問題の解決を図る。

(2) 事業化展開

B1b型大容量化蓄熱資材で温室使用燃料の35%の省エネ効果を達成することができたこと、B1b型大容量カプセル容器や現行のD1型カプセル容器での連続生産が開発した潜熱蓄熱材自動注入封止装置で設計通りの性能で、可能になったことから、株式会社ヤノ技研で平成30年4月からテスト生産およびテスト販売を開始し、想定シェア0.1%を目標とする。さらに、蓄熱資材のリース販売実績のあるクボタアグリサービス株式会社とともに農業法人や個人農家などにリースシステム内容も含めて本事業の成果を紹介し、順次製品の販売を行い、量産安定化、品質安定化等のノウハウを蓄積し、実績を固める。新規顧客獲得のため、特に各都道府県の公設試での紹介や実証実験を行い、関心が高いハウス栽培農家に対してサンプルのレンタルも積極的に実施して、普及に努める。