

【課題名】施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)の開発・実証(委託and補助)

【代表者】国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 石井雅久

【実施年度】令和4年度～令和6年度(令和7年3月終了)

(1)技術開発・実証の概要

①【課題の概要・目的】

施設園芸は冬季の暖房コストとCO2排出量削減が重要な課題である。ヒートポンプは燃料式暖房機よりも暖房コストが低く、CO2削減に資する技術として注目されてきたが、導入コストが高く、外気温が低下する冬季深夜に採熱が不安定になる等の問題があり、普及していない。また、施設園芸では光透過性の被覆を用いる必要があり、一般建築物の様な高断熱性の壁材を利用出来ない。本実証事業では、農村地域の未利用熱を活用する①高効率施設園芸用ヒートポンプ、②暖房・冷房の効果と植物の光合成を促進する積層高機能性内張カーテン、③高精度環境計測・制御装置と合わせて体系化し、脱炭素化に向けたゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)を構築・実証する。

②【技術開発・実証の内容と成果】

○重要な開発要素

A1.【施設園芸用ヒートポンプの開発・実証】

空気熱源ヒートポンプのデフロストと、地中熱源ヒートポンプのブライン循環という両者の弱点を克服する、新たな施設園芸用ヒートポンプを開発・実証する。2026～2027年度に事業化準備完了見込(現在、ネポン(株)他と協議中)。

A2.【波長選択型積層フィルム資材の研究開発】

暖房時の保温性能と近赤外光の反射による遮熱性能を有する新たなカーテン資材により、暖房・冷房負荷の軽減と作物の生産性を向上する技術を開発・実証する。事業化に向けた準備を継続中。

A3.【ZEGに適用する環境制御システムの開発・実証】

A1およびA2の効果を最大限に発揮する制御ロジックと室内環境のムラ・無駄を最小限にする高精度環境計測・制御装置を開発・構築する。2026年度に事業化準備完了見込。一部の技術要素は2025年度から事業化移行。

その他の開発要素:

A4.【センサーネットワークデザイン技術の構築・運用と情報通信プラットフォーム構築】

ZEG環境を均一・最適化するためのセンサーネットワーク手法を開発し、国際規格に提案してZEGのグローバル展開を行う。2025年9月にIEEE 2992として規格成立。2026年頃より応用品の供給が開始されると見込む。

B. 開発要素のシステム統合と、C. その他実証

B1.【脱炭素に資する新たなZEGの体系化】

A1～A3開発項目を体系化し、ZEGを社会実装するための基本技術を開発・構築する。

B2.【ZEGの基本設計および実証温室での環境計測・評価】

ZEGの基本設計仕様を策定するための要件定義や評価手法を確立し、熱収支シミュレーションモデルの開発を行って、ZEGの有効性を評価する。

B3.【ZEGの構築と評価】

ZEG仕様温室の設計・構築とZEGの性能評価手法を確立し、これをC4課題で建設するZEGに適用して、ZEGの有効性を実証する。

C1.【トマト栽培】、C2.【キュウリ栽培】、C3.【コショウラン栽培】、C4.【イチゴ栽培】(実証試験)

ZEG環境下での実証試験を行い、①暖房コストならびにCO2削減、②冷房に要する電力費の削減、③野菜や花きなどの農作物の収量や品質向上等により、ZEGを適用した農業の経営収支を改善する。このうち、C2、C3、C4は、ZEG仕様温室での実証とする。また、C1～C3は既設改修の、C4はZEG新設とし、導入方法の違いの事例評価とする。

③【システム構成】

【実証技術の概要】

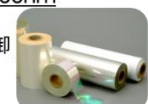
【技術要素①】
施設園芸用
ヒートポンプ



地下水熱源

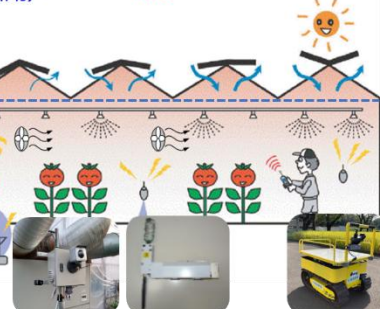
【技術要素②】
波長選択積層フィルムを適用した
新カーテン資材(保温/遮熱併用)

・光合成に有効な400～700nm
の波長を選択的に透過
・近赤・赤外光の反射を制御



波長選択積層フィルム

【技術要素③】
高精度環境計測・制御装置
/G-EMS/センサーネットワーク



【技術要素④】
ZEG体系化
エネルギーNet Zero
生産性・収益向上

- ① 農業地域の再エネ電力と未利用熱を活用する高効率な施設園芸用ヒートポンプの開発による燃料式暖房機からの脱却
- ② 作物光合成の最大化とエネルギーロスを最小化し、作物にとって明るい波長選択積層フィルムを適用した新カーテン資材の開発
- ③ ヒートポンプと新資材カーテンの効果を引き出すセンサーネットワークと高精度環境計測・制御装置/G-EMSの開発
- ④ ①施設園芸用ヒートポンプ、②新素材カーテン、③高精度環境計測・制御システムを組み合わせたZEG仕様温室生産システム

④【開発・実証成果のまとめ】

○開発・実証の目標及び達成状況:

暖房設備を備えた施設園芸における、排出CO₂の、

- ・従来比50%削減(目標値)
- に対し、
- ・50%の削減効果を確認し、
- ・高温期の収量15%の増加を確認した。
- ・収穫物の品質向上
- を得た。

○想定ユーザ・利用価値:

想定するユーザは国内外の施設園芸生産者および生産企業。
ユーザニーズを満たす付加価値として、温室の気温上昇をもたらすのみで植物成長に寄与しない近赤外線のみを選択的に反射し、光合成に有効な可視光を最大限入射させるフィルムは、夏季に使用すると作物にとって明るい遮熱フィルム、冬季に使用すると省エネに資する保温フィルムとして、一つのカーテン資材を多目的利用できる。

(4)事業化について

【事業化計画】

○事業化の体制

主要開発物の事業化は、下記の通り(課題番号、主たる開発物、担当事業者)

A1. 施設園芸用ヒートポンプ、ヒートポンプメーカー(国内複数社)

A2. 波長選択型積層フィルム、東洋紡

A3. ZEGに適用する環境制御システム、ホルトプラン

A4. 情報通信プラットフォーム、ホルトプランほか各事業者

ZEG全体の導入設計・施工は、イノチオアグリが担う。

他の参画機関は、ZEG運用ノウハウや栽培法など、公表可能な範囲で最大限の情報提供を行い、事業化促進を側方支援する。

○事業展開における普及の見込み

国内の施設園芸約4万haのうち、主たる対象は燃焼式加温設備を持つ16,000ha

主たる置換対象となる燃焼式暖房機の数: 320,000台

・導入コスト目標: 従来比1.2倍(施設全体)

・運用コスト目標: 従来と同等以下

・投資単純回収年数目標: 8年

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における専門委員会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2025	2030	2030
目標単年度販売台数(台)	6,400	30,000	58,200
目標累積販売台数(台)	6,400	156,400	756,400
目標販売価格(円/台)	2,700,000	2,500,000	2,500,000

※代表的な技術要素であるヒートポンプを例にとる

【本資料作成時点見込み】

本表の年次は固定

年度	2027 (販売開始年 度を記載)	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	6,400	32,000	64,000
目標累積販売台数(台)	6,400	102,400	864,000
目標販売価格(円/台)	2,700,000	2,500,000	2,500,000

※代表的な技術要素であるヒートポンプを例にとる

※買い替え周期を10年とし、1haあたり40台導入した場合。

○量産化・販売計画

- ・'26年から、市販化(環境制御システム)／試験販売開始(水熱源ヒートポンプ)。
- ・'26年から、一部構成技術のサービス供給開始(自律型小型電動農機)。
- ・'28年を目標に、追加開発を経て本課題で開発した全構成要素を上市し、ワンストップ・パッケージ供給を本格化。

○事業拡大シナリオ

年度	2025	2026	2027	2028
一部商品化 個別導入	上市:環境制御システム／試験販売:水熱源ヒートポンプ			
残り項目の 商品化	改良	上市:自律型小型電動農機		
継続的な改良		改良	上市	
			改良	上市
ワンストップ導入 パッケージ導入				供給開始

○事業化におけるリスク(課題・障害)とその対策

・脱炭素化農業が認知されないリスク／脱炭素化による作物が消費者に受け入れられないリスク

→ 流通事業者と協調して消費者に認知を広げる

・脱炭素化への投資意欲が生産者に醸成されないリスク

→ 行政や普及団体と協調して脱炭素化の推進を図る

・一部技術要素について事業化遅延が発生するリスク

→ ZEGは一部の技術要素でも効果を発揮可能

・導入コストの低減が進まないリスク

→ 設計や事業モデルの工夫や新技術の導入による回避

・一般的な事業における死の谷を乗り越えられないリスク

→ 監督官庁や投資家等の協力を得る

・国際化・分業化により、国内農産業規模が縮小するリスク

→ 後継者の育成と、流通コスト・GHG排出効率の周知

発表実績

○論文・特許・その他実績

●2022～2023年度

- ・農研機構、再生エネルギーを地産地消する農山漁村エネルギーマネジメントシステム (VEMS) の取組、施設と園芸202号、2023夏
- ・農研機構、GreenSys(国際園芸学会)、2023/10/22-26
- ・農研機構、日蘭園芸セミナー「持続可能で収益性の高い温室事業」、2023/10/12
ほか4件(シンポジウム等での発表)
- ・慶應義塾大学、Estimation of Indoor Space Temperature Distribution Using Heat Maps、49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IES)、2023/10/16-19
- ・早稲田大学、温室および農場のゼロ・エネルギー化に関する研究、空気調和衛生工学会、2023/9/6-8
- ・早稲田大学、温室と農場のネット・ゼロ・エネルギー及びエミッションに関する定義と評価方法の開発、日本建築学会 技術報告集、

●2024年度

【学会等での発表】 ○は発表者

- ・脱炭素社会に向けたゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)の展望、農業情報学会シンポジウム「スマート技術が可能にする環境配慮型農業生産」、農業情報学会、○石井雅久
- ・農業食料工学会総説「農山漁村エネルギーマネジメントシステム(VEMS)の研究開発に向けた取り組み」、農業食料工学会、○石井雅久
- ・施設園芸・植物工場展2024(GPEC) 特別セミナー「農林水産業のカーボンニュートラルに向けた農山漁村エネルギーマネジメントシステム(VEMS)およびゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)の研究開発」、○石井雅久
- ・温室におけるRE利用のためのEMSの開発、2024年度農業施設学会大会、農業施設学会、○林泰正、石井雅久、竹岡良樹
- ・オープンループ型直接膨張式ヒートポンプの暖房性能、2024年度農業施設学会大会、農業施設学会、○石井雅久、土屋遼太、大橋雄太、三木昂史、林 真紀夫
- ・温室および農場のゼロ・エネルギー化に関する研究 第3報 ZEG評価に向けた温室のエネルギーシミュレータの開発、令和6年度空気調和・衛生工学会大会、空気調和・衛生工学会、○菅野 颯馬、石森貴也、石井雅久、藤本悠、林泰弘、田辺新一
- ・Integrated Information Representation Using IEEE P2992 and Its Application Use Cases, The 2024 Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), IEEE IES Society, ○Makiko Kozakai, Hayashi Emiri, Hiroaki Nishi
- ・Security for IEEE P1451.1.6-based Sensor Networks for IoT Applications, The 2024 Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), IEEE IES Society, ○Hiroaki Nishi, Janaka Wejekoon, Eugene Y. Song, Kang B. Kee
- ・施設園芸の脱炭素化に向けたZEG環境制御シミュレータの開発、日本生物環境工学会2024年大阪大会、日本生物環境工学会、○林泰正、石井雅久
- ・群落環境把握のための小型センサ開発、日本生物環境工学会2024年大阪大会、日本生物環境工学会、○林泰正、石井雅久
- ・温室における電気ヒートポンプの暖冷房利用時の運転特性の解析、日本生物環境工学会2024年大阪大会、日本生物環境工学会、○佐野恵也、吉田英生、彦坂晶子、後藤英司
- ・花き施設園芸におけるCO2排出抑制の取り組みと経費削減への応用、令和6年度山梨県花き連花き園芸研究大会、山梨県花き園芸組合連合会、○渡邊大之

【展示会等での発表】

- ・ GPEC2024(東京ビッグサイト)、主催：日本施設園芸協会、7/24-26、1コマ出展
- ・ アグリビジネス創出フェア2024(東京ビッグサイト)、主催：農林水産省、11/26-28、1コマ出展

【委員会委員】

- ・ 令和6年度園芸施設のゼロエミッション化に向けた取組検討会、農林水産省、委員：石井雅久
- ・ 令和6年度 農村地域における地下水の温度利用検討調査、農林水産省、委員：石井雅久

【Webサイト等】

<http://www.zeg.jp>

ZEGのポータルサイト開設

発表実績

●2025年度

【学会等での発表】 ○は発表者

- ・ 試作した自律走行ロボットの紹介, 農研機構Webページ, 農研機構, 農機研・無人化農作業研究領域・小型電動ロボット技術グループ「令和6年度事業報告」
- ・ Design Requirements for Facilities and Equipment in net Zero Energy Greenhouse (ZEG) for Decarbonizing Greenhouse Horticulture, Greensys 2025, ○Soma Sugano, Masahisa Ishii, Ryota Tsuchiya, Yuta Ohashi, Yasumasa Hayashi, Makoto Nakaune, Takaya Ishimori, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, Hiroaki Nishi, Eiji Goto, and Shin-ichi Tanabe
- ・ Estimating Time-Series Energy Consumption of Combustion-Type Air Heater in Greenhouse Using Readily Measurable Variables, Greensys 2025, ○Ryota Tsuchiya, Yuta Ohashi, Takashi Miki, Hiroaki Nishi, Masahisa Ishii
- ・ 温室および農場のゼロ・エネルギー化に関する研究 第4報 ネット・ゼロ・エネルギーを志向した実証温室の性能評価, 空気調和・衛生工学会2025大会, ○菅野 颯馬、石井 雅久、土屋 遼太、大橋 雄太、林 泰正、川波 政和、田辺 新一
- ・ ゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)の開発と実証, 2025年度農業施設学会大会, ○石井雅久、大橋雄太、土屋遼太、菅野颯馬、田辺新一、吉永慶太、奥村久雄、林泰正、中畝誠、鈴木邦典、渡邊大之、川波政和、西宏章、後藤英司
- ・ 農林水産業のCO2ゼロエミッション化に不可欠なヒートポンプの現状・課題と農研機構の取り組み, 日本冷凍空調学会, ○石井雅久
- ・ 小特集 農業農村工学における再生可能エネルギー利用－ ① 農山漁村エネルギーマネジメントシステム (VEMS) の研究開発, 農業農村工学会, ○石井雅久、土屋遼太、中村真人、後藤真宏、渡邊真由美、森山英樹、木村健一郎、芦田敏文、遠藤和子
- ・ 農研機構における施設園芸の脱炭素化とゼロエネルギー化の取り組み, 環境省「令和7年度地中熱利用普及促進検討業務自治体セミナー」, ○石井雅久

【委員会委員】

- ・ 令和7年度地中熱利用普及促進検討業務、環境省、委員：石井雅久
- ・ 令和7年度 農村地域における地下水の温度利用検討調査、農林水産省、委員：石井雅久

【Webサイト等】

<http://www.zeg.jp>

ZEGのポータルサイト(継続中)

GoogleおよびYahooの検索エンジンでは、開設当初は「zeg」で検索しても当該ページはヒットしなかった。

本年度に入り、検索エンジンの検索ポリシー変更(AI検索機能付与)に伴い、検索第1候補に上がるようになり、またAIとりまとめ機能で「ZEG」の意味として、本取組の“net Zero Energy Greenhouse”が表示される様になった。

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/R6_Business_Report.pdf 「農研機構農業機械研究部門 令和7年度事業報告」 試作した自律走行ロボットの紹介

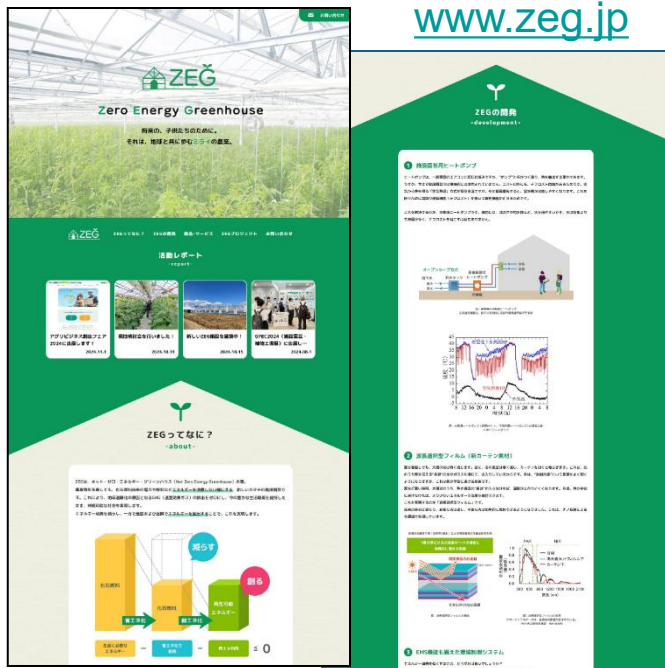
<https://www.naro.go.jp/project/results/main/index.html> 「農研機構 研究成果情報 2024年度」 施設園芸の脱炭素化に資するネット・ゼロ・エネルギー・グリーンハウス(ZEG)の要件定義

【特許等】

現時点で候補7本、うち4本の特許知財化プロセスを進行中。

広報

Webページによる広報



▼Google検索の結果



展示会での広報



広報用資料



実証施設[イオンアグリ創造 三重いなべ農場 ZEG施設]

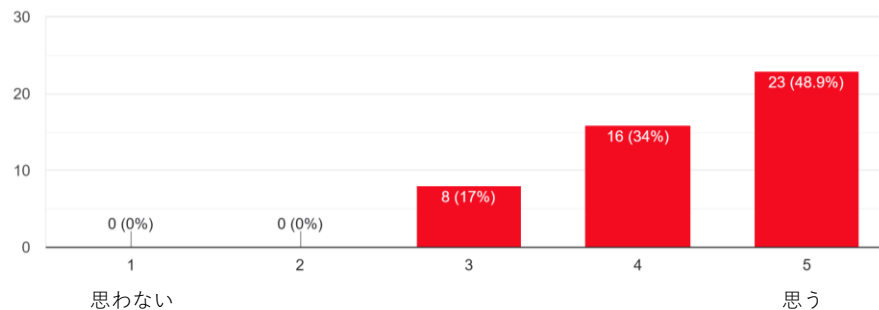


消費市場動向[大手小売グループ バイヤーアンケート]

オンラインアンケートに対し、47名の回答

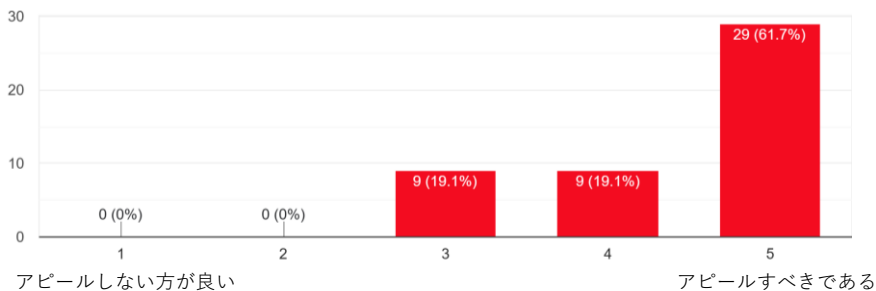
脱炭素化技術で作られた農産物を販売したいと思いますか？

47件の回答



脱炭素化技術で作られた農産物を販売したいと思いますか？

47件の回答

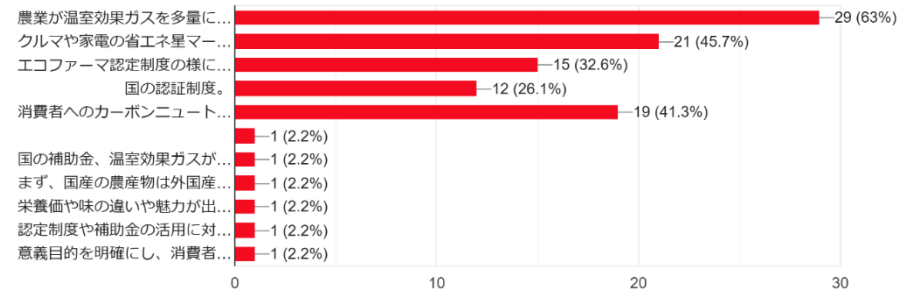


脱炭素化された農産物を普及するためには、どのような事が今後必要だと思いますか？

- ☐ 農業が温室効果ガスを多量に出している事を、消費者に知ってもらうこと。
- ☐ クルマや家電の省エネ星マークの様に、農産品にも脱炭素化達成度の表記。
- ☐ エコファーマ認定制度の様に、脱炭素ファーマ(農産物)認定制度。
- ☐ 国の認証制度。
- ☐ 消費者へのカーボンニュートラル対応農作物のアピール。
- ☐ その他(記述式)

脱炭素化された農産物を普及するためには、どのような事が今後必要だと思いますか？

46件の回答



「その他」での回答内容:

- ✓ 国の補助金、温室効果ガスが地球環境に与える影響リスクと現在の状況の周知
- ✓ まず、国産の農産物は外国産に比べて移動距離が少ない分、輸送時の温室効果ガスが少ないことをアピールして国産農産物の消費を増やす努力をするべき
- ✓ 栄養価や味の違いや魅力が出るなら、そこのアピール
- ✓ 認定制度や補助金の活用に対する取り組みやすさ。複雑な承認制度や補助金取得の手続きが煩雑だと普及しづらいと思う。
- ✓ 意義目的を明確にし、消費者へわかりやすく伝えること

事後評価結果

評価点 6. 7点（10点満点中。（10点：特に優れている、8点：優れている、6点：問題ない、4点：多少問題がある、2点：大きな問題がある））

評価コメント

〔評価される点〕

- ・ 高効率施設園芸用ヒートポンプ、積層高機能性内張カーテン及び高精度環境計測・制御装置をZEGシステムの構成要素技術として適切に開発し、事業化が可能な状態になっていることが評価される。また、複数の作物に対して本システムを導入した実証試験を行い、暖房設備を有する施設園芸におけるCO2排出量の50%以上の削減、高温期の作物収量の15%の増加等、当初の目標を概ね、一部については目標以上に達成していることが評価される。併せて、IEEE規格の取得、ZEG認証の検討等に努力していることが評価される。

〔今後の課題〕

- ・ 高度な設備、素材とセンサーネットワークから成り立つシステムを活かし、環境条件の変動等に迅速に対応し得る柔軟なシステムにすること、本体価格の低減や農水省等からの補助等により農家が導入しやすい価格となるよう努力することが望まれる。
- ・ 施設の環境条件と育成品種に対するZEGシステムの最適適用条件をまとめるなど、運用方法の標準化をさらに進めることが望まれる。
- ・ 夏の熱波による被害を軽減するための積層フィルムの有効性、CO2負荷栽培と産業排ガスの利用可能性について検討することが望まれる。

〔事業化に向けたコメント〕

- ・ 本事業はCO2削減効果、作物収量増加、コスト低減等の確かなエビデンスを積み重ねる段階にある。例えば、積層フィルムのCO2排出削減と収量増に及ぼす定量的な影響評価を発信する、低炭素野菜等の名称を作物に付けて販売すること等、具体的な対策の検討が望まれる。
- ・ 事業化のための組織を組み、得られた成果を広く発信して、主体的、積極的に事業化に取り組むことが望まれる。ZEG認証制度の利点と重要性についても整理して農家がZEGを目指す意義を示すことが望まれる。
- ・ 施設園芸用ヒートポンプや積層フィルム等の個別の技術ごとの販売と導入もCO2削減に繋がるため、ZEGシステムとして導入する必要性と利点について農家の視点で整理し、脱炭素農産物のPRを含めてより普及しやすい仕組みを発信して行くことが望まれる。