

平成29年3月14日 日本太陽エネルギー利用学会

13:05-13:50

# 『太陽エネルギーを 多面利用する 高度施設生産技術』

中野明正 (農研機構 野菜花き研究部門)

## 〔太陽エネルギー利用技術と農林水産業の融合〕

地表の垂直面に約  $1 \text{ kWm}^{-2}$  で放射される太陽エネルギー

- ①太陽エネルギーを直接熱として利用
- ②電気に変換して利用
- ③生物の力を利用して化学エネルギーに変換したバイオマスを利用
- ④地表面の土壌や大気や水に一旦熱エネルギーとして蓄えたものをヒートポンプで利用
- ⑤大気や地表水や海洋水などの流体の運動エネルギーや位置エネルギーとして蓄えられたものを間接的に利用する風力・水力・潮力(波力)発電による利用

間接的に利用する風力・水力・潮力(波力)発電による利用

これらの技術は小規模・地域分散型であり,同じく地域に分散する農林水産業との親和性が高く,地域分散型循環社会の構築による地方再生には欠かせない技術.

工業系の分野で発展して来た太陽エネルギー利用技術の農業分野への応用は,ハウス栽培については長い歴史があるものの,その他の技術については近年緒に就いたばかり

# 本日のお話

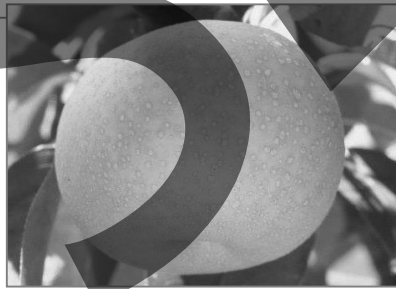
- ①食と農のトレンドを考える
- ②施設園芸の光・熱・資源利用
- ③高効率，循環社会を目指して
- ④地域活性化に向けたモデル構築

## 暮らしのココにも農研機構



ふじ

味も貯蔵性にも優れる  
生産量が世界一のリンゴ



幸水・豊水

糖度が高く果実品質に優れる  
栽培面積一位・二位のナシ

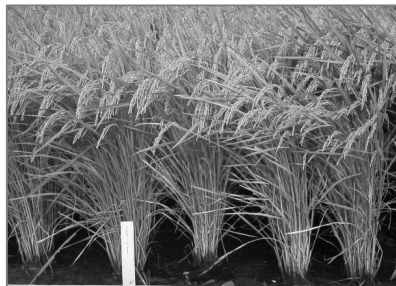


シャインマスカット

糖度が高くマスカット香を持つ  
皮ごと食べられる種なしブドウ



べにはるか・コガネセンガン  
焼き芋/芋焼酎に最適のサツマイモ



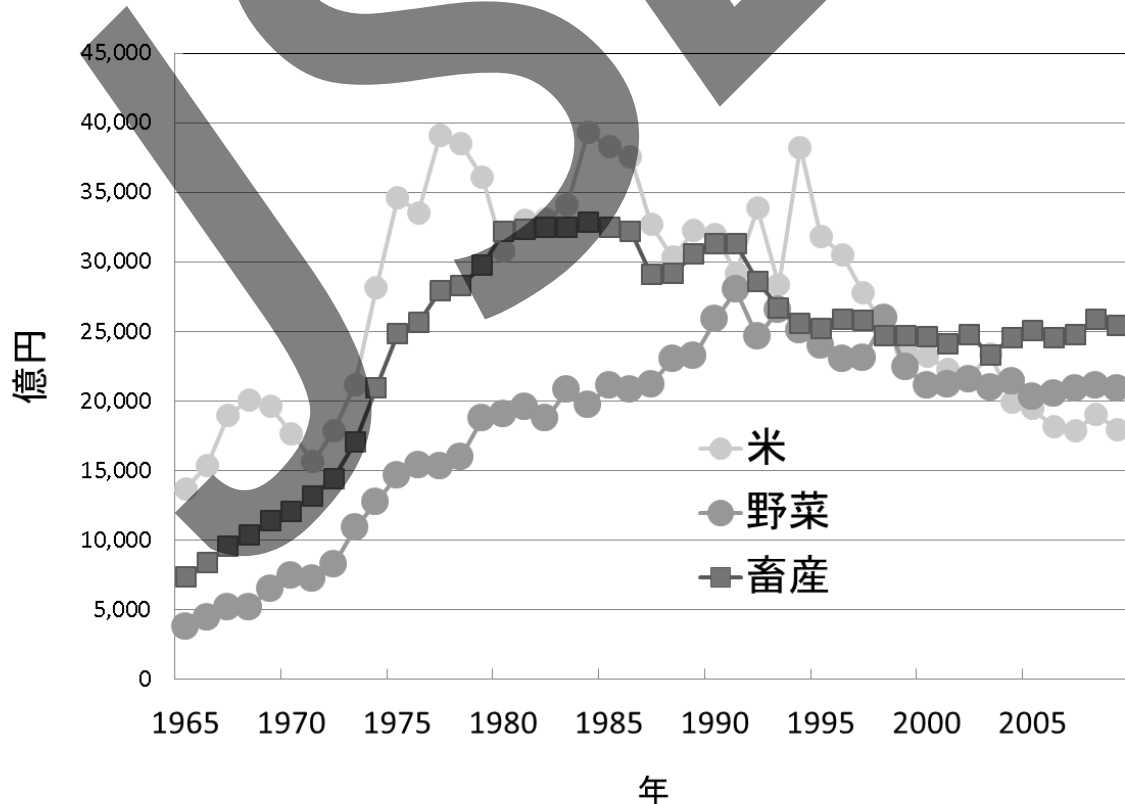
ミルクキーン  
ご飯のねばりが強く冷めても  
固くなりにくい低アミロース米



ゆめちから  
国産小麦でおいしいパンが  
焼けるパン用コムギ

# 食と農のトレンドを考える

## 日本農業はどこへ向かう？



農業国内生産額，約10兆円，定常から縮小トレンド

# 私たちの未来

どのような農業林水産業をイメージしますか？



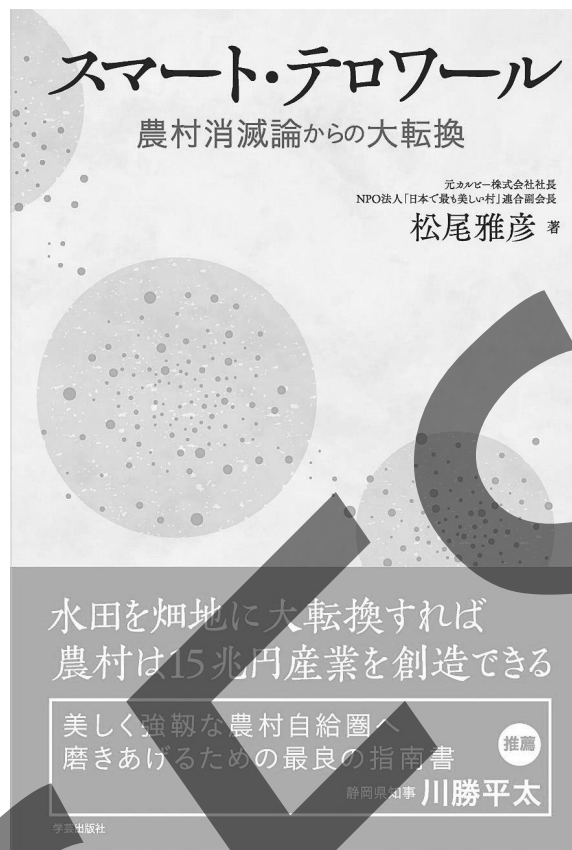
未来は「今、我々が何をするか」にかかっている。ガンジー

## 「エシカル消費」

エシカル(ethical)とは倫理的・道徳的という意味。多少値段が高くても地球環境に配慮したものを選び、日々の消費行動から社会貢献をしたいという倫理観に基づいた消費。

- ・有機食品の購入・地産地消・スローフード運動。
- ・環境問題から貧困や人権問題も視野に入れた新しい社会的消費スタイル。
- ・地元産の野菜を選び地元の農家や企業にお金をまわすことで、地域社会の循環にもつなげる取り組みもエシカル消費。

# 「テロワール」



# 「健康」

## 野菜多く食べる男性、リスクが低下するがんは...

野菜を多く食べる男性は、少ない男性よりも、日本人に多い下部胃がんを発症する割合が低いという調査結果を、国立がん研究センターが発表。

生活習慣とがん発症の関連などについて1988年から、参加者約19万人を分析。

平均11年間の追跡期間中に2995人が胃がんになり、野菜も果物も最も多く取ったグループで発症の危険性が低下する傾向があった。下部胃がんについては、野菜を最も多く取った男性は、最も少なかった男性に比べ、発症の危険性が78%に下がった。男性より野菜を多く取る女性については差が見られなかった。

2014年12月27日 14時31分 Copyright © The Yomiuri Shimibun

低カロリー、高機能(ビタミンミネラル)食材としての評価

# 疫学研究により明らかになった、 がんと食物、習慣との関係

	全がん	肺がん	肝がん	胃がん	大腸がん	乳がん	食道がん	すいがん
喫煙	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑	↑	↑	↑↑↑	↑↑↑
受動喫煙		↑↑						
飲酒	↑↑↑		↑↑↑		↑↑↑		↑↑↑	
肥満	↑		↑↑		↑↑	↑		
運動					↓↓	↓		
野菜摂取				↓			↓↓	
果物摂取		↓	↓				↓↓	
コーヒー			↓↓			↓		
熱い食物							↑↑	
肉					↑			
食塩				↑↑				

国立がん研究センターの資料をもとに作成、↑はリスク上昇、↓はリスク減少  
3つは確実、2つはほぼ確実、1つは可能性があることを示す。

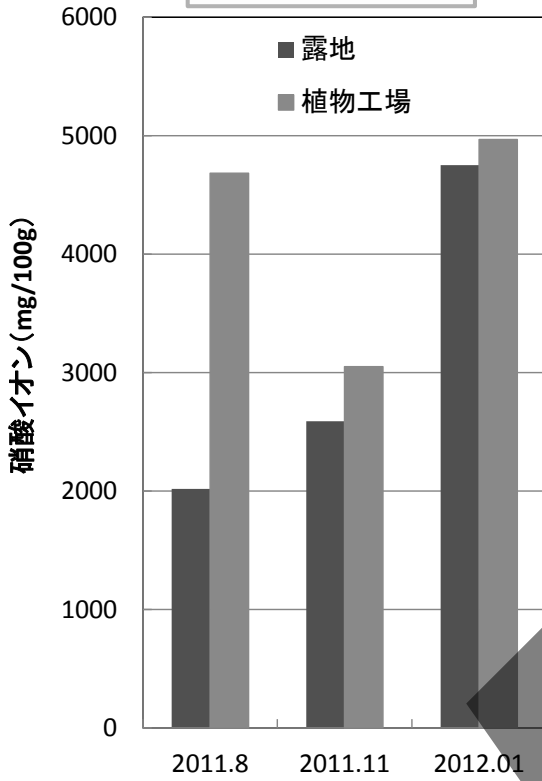
## 新しい付加価値 ①無農薬



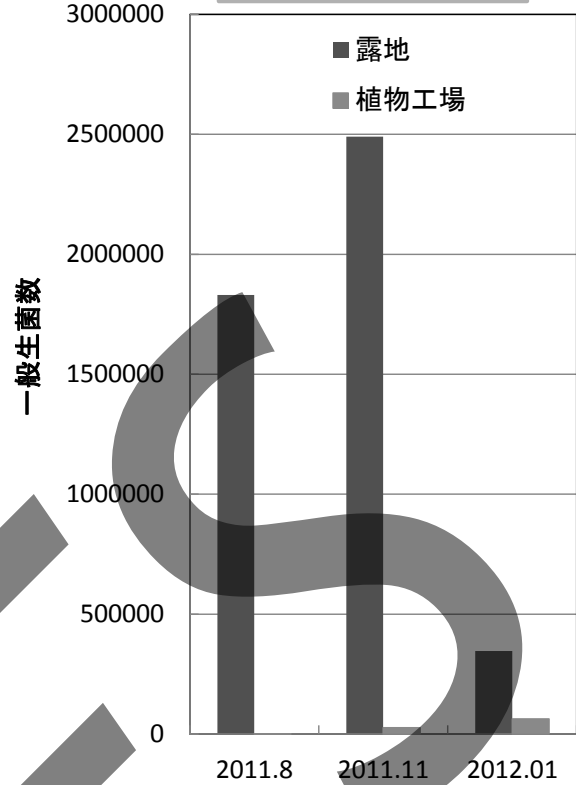
徹底した品質管理の基本はまずは安全な“食べ物”を作る生産工程の設計、『エコ作』は安心・安全な無農薬です(JFEライフHPより)。

# 新しい付加価値 ②微生物が少ない

## 硝酸イオン

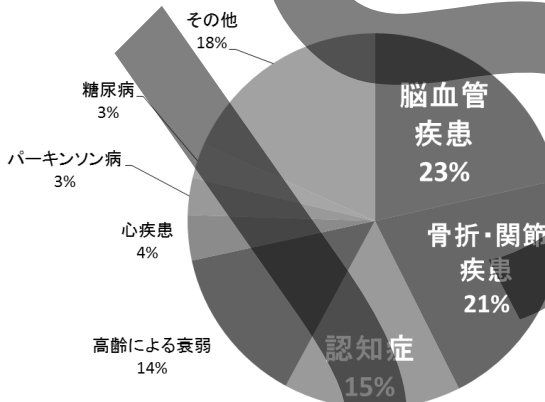


## 一般生菌数



安心を売る

# 新しい付加価値 ③関節疾患予防高CaMg菜



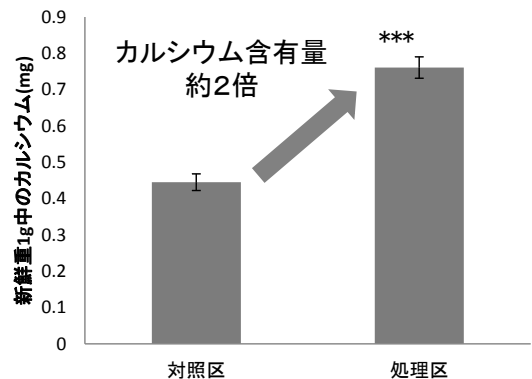
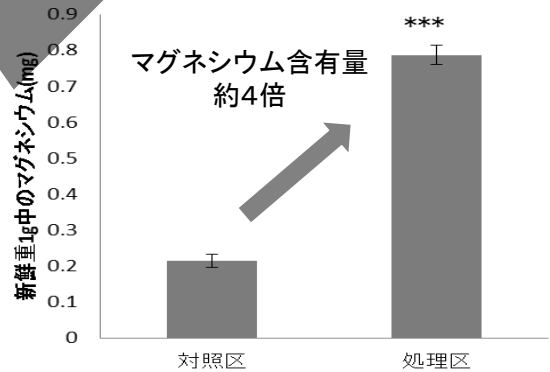
介護が必要となった主な原因の構成割合  
 (「厚生労働省 平成22年国民生活基礎調査の概況」より改変引用)

骨の形成に必要なミ  
カルシウムとマグネシウム

高「カルシウム」「マグネシウム」含量野菜

骨折・関節疾患の予防

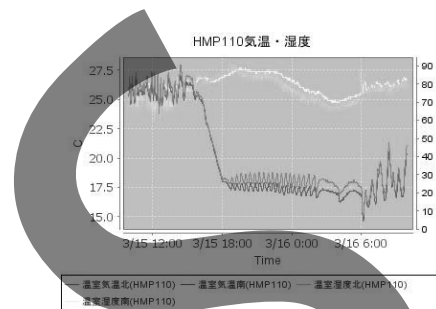
高齢化社会での介護化予防



水耕栽培における溶液組成制御によりマグネシウムおよびカルシウム含有量の高い葉菜の栽培が可能になった(図はサンチュを用いた研究例)

# 「見える, 伝わる」

- まず情報収集(農業のIT化)
- 情報の発信の仕方(生産・流通)
- 情報の解釈の仕方(ソムリエ)
- 情報の受け取り(生活者)



# 「エネルギー」

## 農産品の投入エネルギーの比較

品目	エネルギー投入 (GJ/ton)		
	直接	間接	合計
ピーマン・冬春	94.9	8.2	103.1
イチゴ	62.4	15.6	78.0
ナス・冬春	42.2	10.1	52.3
トマト・冬春	44.3	7.5	51.8
コメ	2.0	5.9	7.9
トマト・夏秋	3.5	2.1	5.6
ピーマン・夏秋	2.1	1.5	3.6
ナス・夏秋	1.4	1.6	3.0



# 「資源」 下水の汚泥を肥料に ビストロ野菜

## 汚泥のリサイクルの流れ



国土交通省が全国の自治体などと協力し、下水を処理した際に出る汚泥をリサイクルして肥料を作り、農作物を栽培するプロジェクトを進めている。汚泥に含まれる豊富な栄養素に着目した取り組みで、名付けて「ビストロ下水道」。ただ、下水のイメージが災いしてか浸透具合は今ひとつで、同省は汚泥肥料のイメージアップに躍起だ。

現在、安全性をアピールするために科学的なデータの蓄積を進める一方、実際に肥料を使っている農家と組んでのPR活動も検討している。加藤管理官は「肥料の取り組みが軌道に乗れば、リサイクルまで含めた日本の下水処理技術を輸出する『水ビジネス』への展開も期待できる。粘り強く取り組んでいきたい」と話した。

イメージの払拭、脳との戦い

読売新聞 8月17日

施設園芸における  
エネルギー（光）・資源の  
多面的利用  
→最大化

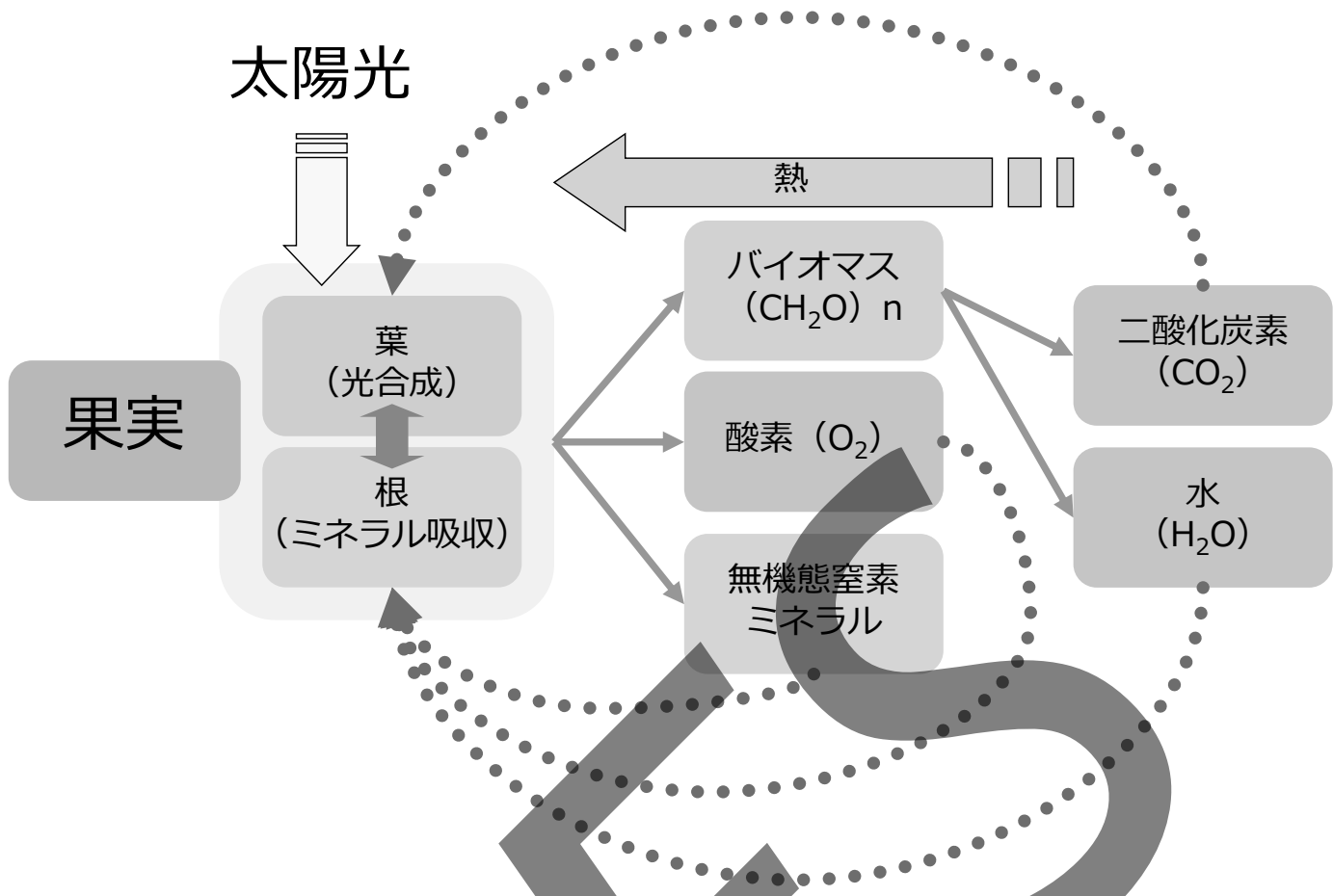
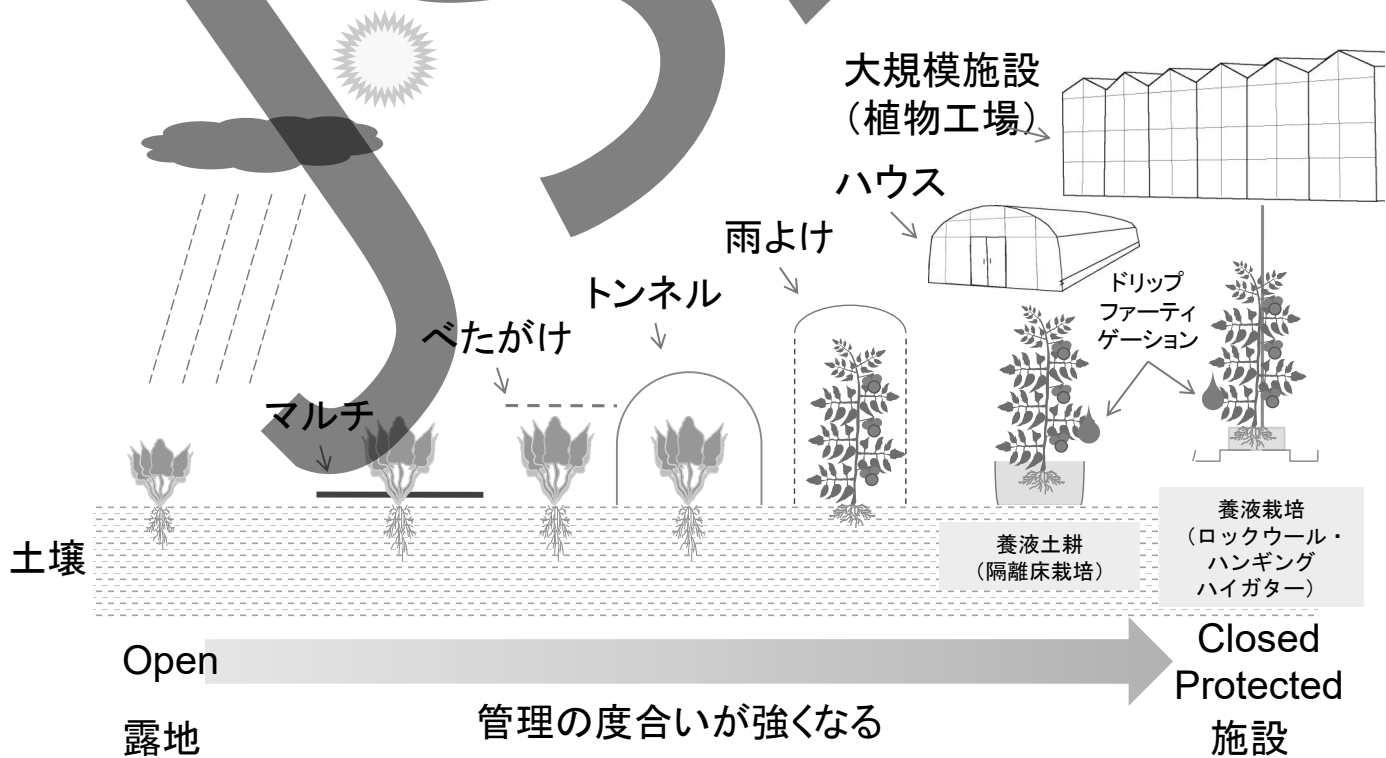


図3 限りなく循環利用に近づける

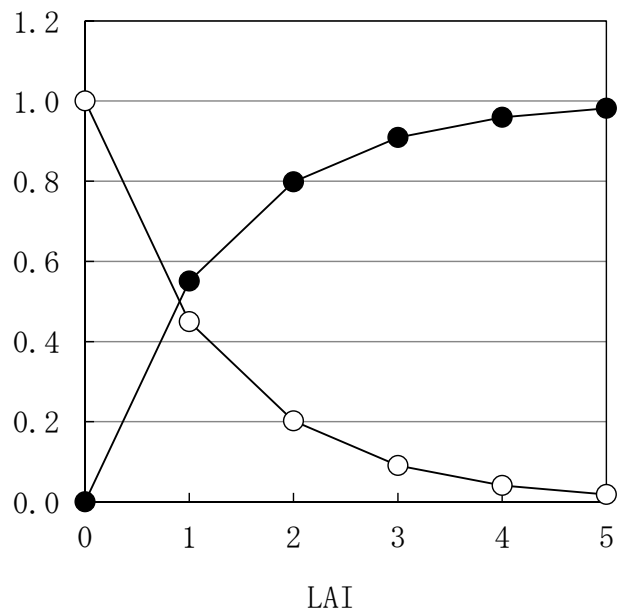
# 露地と施設

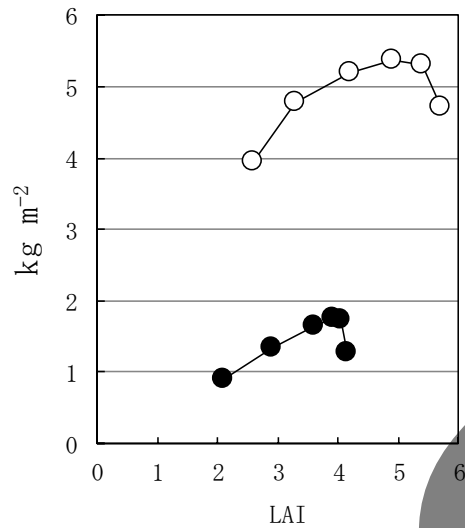




相対光強度および相対受光量

○ 相対光強度      ● 相対受光量

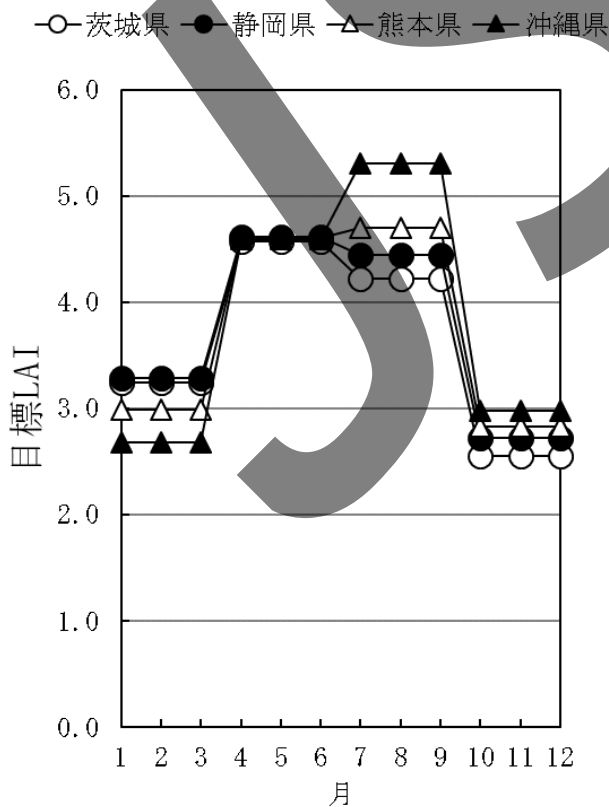




トマト個体群の平均葉面積指数と収量の関係

高さ2mの個体群が多収を達成するための適切なLAIは暖候期（7,8,9月）4~5であり、寒候期3~4（1,2,3月）である。

2mの植物体には、35枚程度の本葉に8段目の開花が見られる。細井（2001）などのデータから計算し、指標の参考とした。

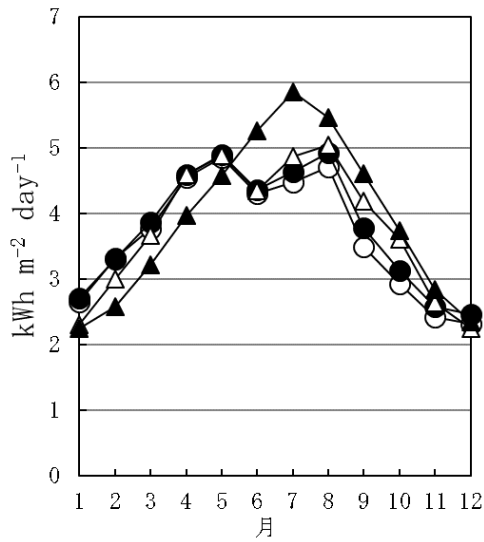


2段の場合は  
個葉の面積 × 13から  
計算し、密度でそれ  
に合わせるようにす  
る戦略

- ・ 日射が弱いときは通常、日射が強いときは密植のイメージ

# 日射からの収量の推定

○茨城県 ●静岡県 △熊本県 ▲沖縄県

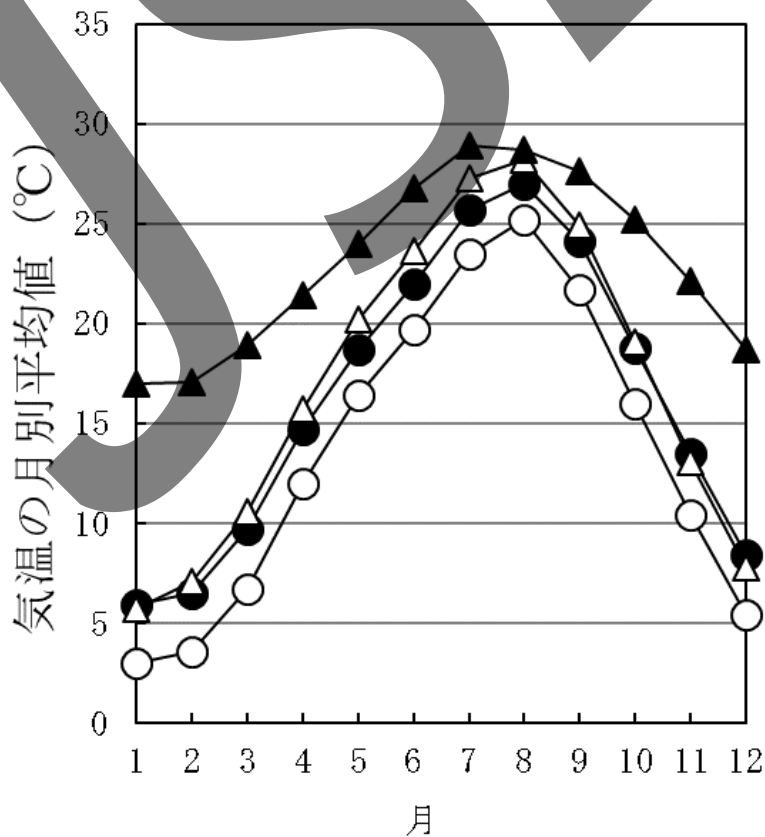


NEDOなどのデータ:  $\text{kWh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$

$$3.6 \text{ MJ m}^{-2} = 1 \text{ kWh m}^{-2}$$

光利用効率:  $\text{g MJ}^{-1} \text{ PAR} = 2.5 \sim 3$   
(Higashide et al. 2014)

○茨城県 ●静岡県 △熊本県 ▲沖縄県



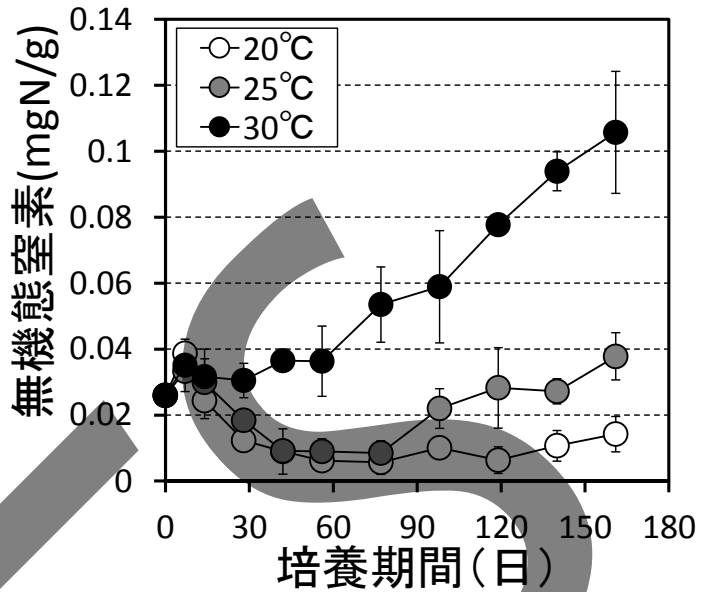
# 太陽熱：堆肥の肥効を高める技術

## 堆肥の肥効を高めるための戦略

土壌中での有機物の分解速度の遅速は、温度（積算温度）に依存する



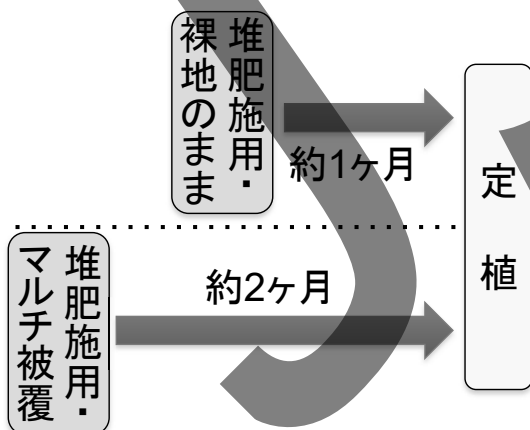
堆肥施用後の地温を高めるとともに、積算温度をかせぐために通常よりも早く堆肥を施用する



温度別の堆肥からの窒素放出パターン

# 堆肥の肥効を高める技術

## マルチ被覆試験の概要



堆肥施用後の圃場を透明ビニールマルチで被覆するとともに、堆肥を通常より1ヶ月早く施用して、積算地温を高めた



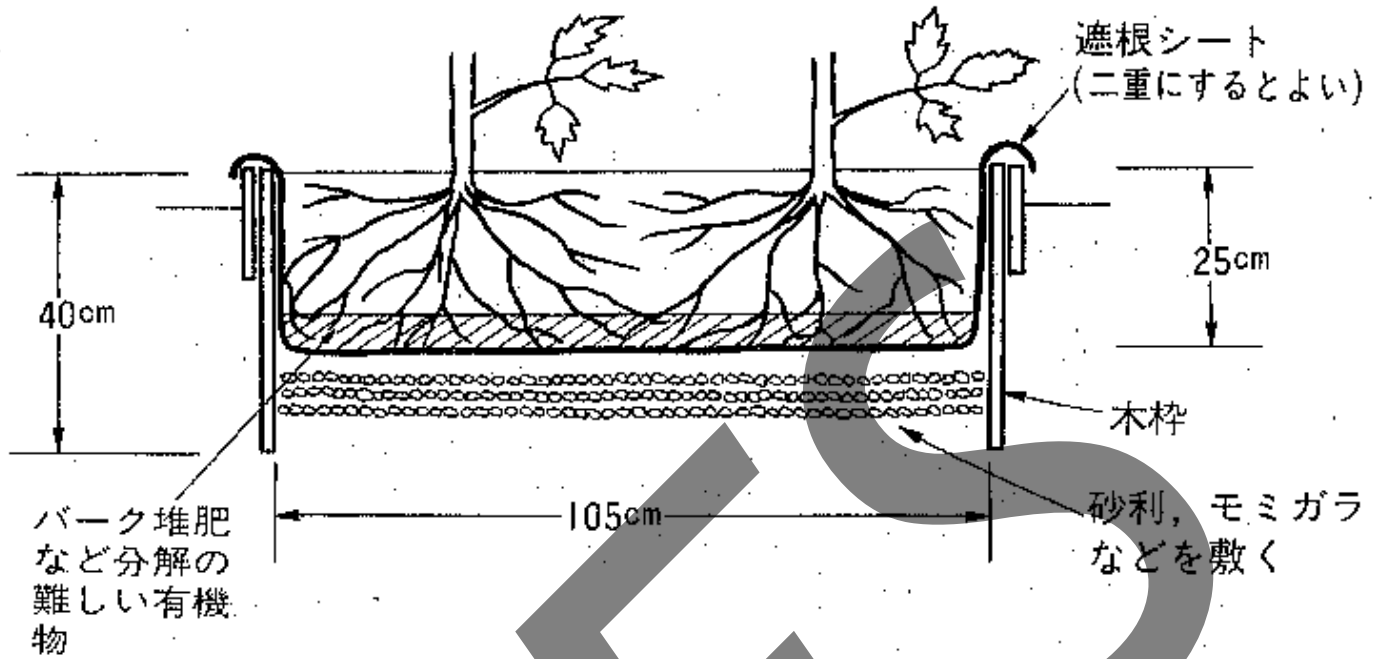
試験区	堆肥 <sup>a</sup> (kgN ha <sup>-1</sup> )	化成肥料 <sup>b</sup> (kgN ha <sup>-1</sup> )	マルチ被覆
化成	0	250	なし
マルチ	750	0	堆肥施用～定植
慣行	750	0	なし

a;オガクズ牛ふん堆肥(水分含量70.7%、全窒素3.39%、CN比13(平均値))

b;化成8号(NPK=8-8-8)

# 太陽熱：消毒

図 遮根シートの断面図（ベッド方式）



## 太陽熱消毒＋隔離床の効果は絶大



写真 「遮根シート」による隔離床の青枯れ病防除効果  
両側の対照区（太陽熱消毒は実施）では全株が発病したのに対して、中央の遮根シート区では全株が健全に生育した

# エネルギーマネジメントと脱化石燃料に向けた方向性

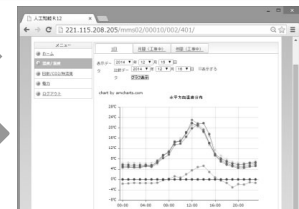
農林水産業分野のエネルギー消費量は産業分野全体の2%余り(3.7Mtoe)を占め、その規模は建設業(4.3Mtoe)、化学繊維(2.8Mtoe)等と匹敵する。特に、農業分野における重油消費の大部分は施設園芸であり、CO2排出量は年間で600万トン以上に相当すると推計。

- 施設園芸は高度な技術を集積した事業性の高い農業生産体系、
- 冬季の暖房を主として、エネルギー多消費型の栽培である
- 現状でも様々な省エネルギー対策は進められているが、その対策は燃料油価格に影響を受け、必ずしもCO2排出削減としての側面は強くない。
- 一方で、施設園芸では確実な熱需要があり、年間を通じた計画的な運転ができることから、効率的・効果的に省エネルギーを進める余地がある。
- ヒートポンプの利用などの電化も進んでおり、将来はコジェネレーションを用いた分散型電源の高効率な運用(電気と廃熱の有効活用)の拠点としても有望。

## 実施例 ハウスの省エネルギーに関する最近の取り組み

実際の生産ハウス:11生産者、17ハウス  
(トマト、キュウリ、イチゴ、花卉)  
研究機関:野茶研ハウスおよび農工研ハウス

文献調査、聞き取り調査



データ処理・総合検討  
→ エネルギー消費診断  
→ 情報の集約、分析、活用  
→ エネマネの基礎検討



施設園芸におけるモニタリング・見える化  
→ モニタリングシステムの構築・運用方法検証  
→ 生産者自身による現状把握

インターネット

モニタリングシステムは  
機器評価の一部にも活用



木質ペレット暖房機



安価なルームエアコン利用 (空気熱源、地下水・地中熱)



バイオマス利用  
コジェネレーション

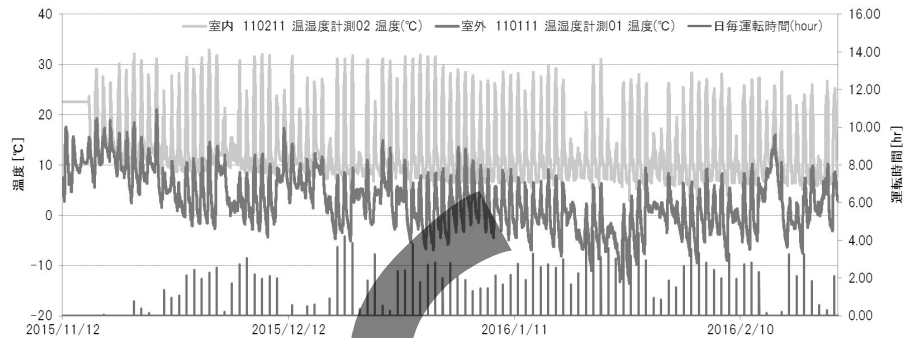
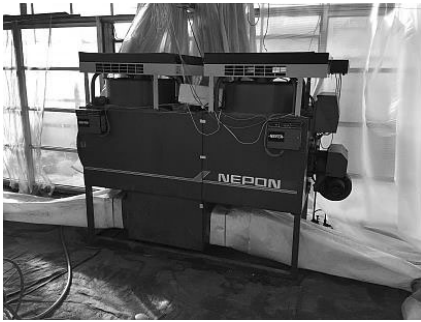
省エネ機器の実証試験  
→ 運転データの収集、効果の検証、導入の提案



長野県駒ヶ根市イチゴ生産者のハウスに導入されたヒートポンプの運転状況の見える化

既存暖房機の吸い込み口に熱交換機をセットすることで低コストにヒートポンプが導入できる製品

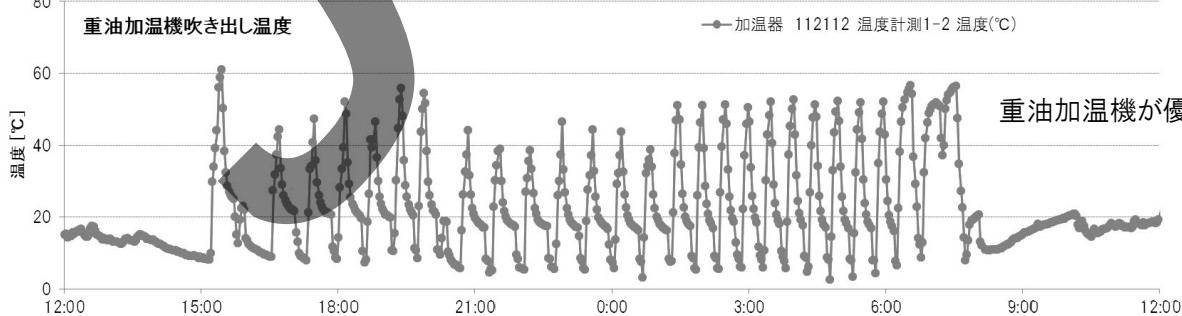
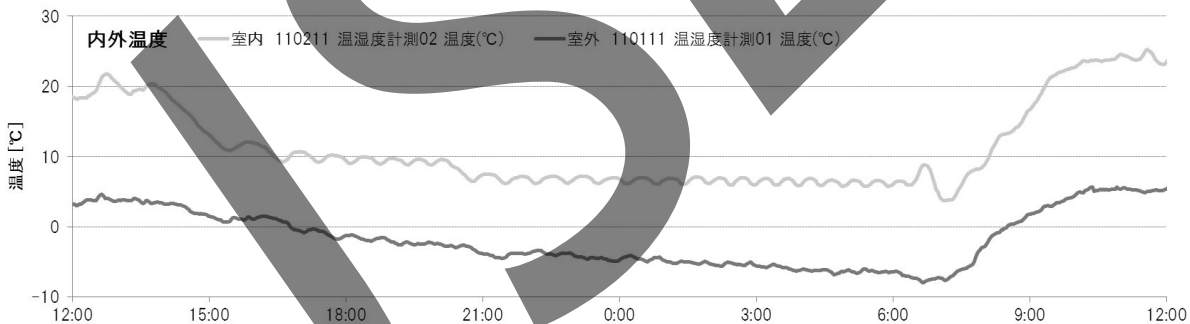
- ヒートポンプ仕様: 18kW × 2台、COP=4.1
- 重油加温機仕様: 87,00kcal/h(≒100kW)、A重油11L/h
- ハウス面積: 999m<sup>2</sup>



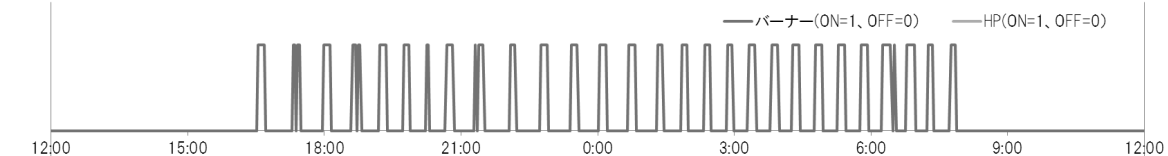
運転状況(暖房供給)を分析

暖房対象時間(16:30~翌8:30)の期間中積算: 1861時間  
 HP運転時間(電力使用より決定)の期間中積算: 499.7時間 (供給熱量 18,000kWh)  
 電力消費 → COPから 4,390kWh 実測 4,930kWh  
 重油燃焼時間(吹出温度より決定)の期間中積算: 241.2時間 (供給熱量 24,400kWh)  
 重油消費 → 消費流量から 2,650L 給油 1,900L

合計42,400kWhの供給熱量は、被覆面の熱貫流係数を2W/m<sup>2</sup>・°Cとすると妥当な値  
 約40%の電化が達成できているので、重油のみでの暖房と比較して20%程度のCO2排出削減



重油加温機が優先している



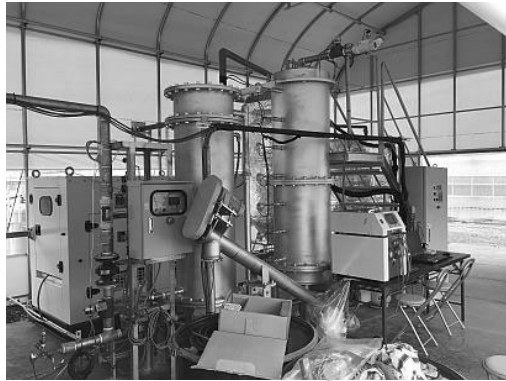
HPは後追いで動作

HPを優先させ、熱量が不足した場合に重油を燃焼する方が効果的

## コジェネ 各種CO2排出削減対策の検討

### 施設園芸向けバイオマスコジェネレーションの試験

バイオマス炭化物を燃料とすることでクリーンなガス化が可能  
10~100kWクラスのコンパクトな装置が実現できる



#### 【ガス化装置】

ガス化原料: 高比重炭化物  
炉内径:  $\phi$  400 mm  
炉高さ: H-2000 mm  
充填量: 250 L (原料比重0.55として130 kg)  
ガス発生量: 毎時25 m<sup>3</sup> (最大)  
ガス冷却: 伝熱面積7.5 m<sup>2</sup>の冷却器による

要素	機器名	機種	名称	名称
燃費	A	燃費	M	発電機
冷却	C	冷却	H/T	ヒーター
圧力	G	圧力		
温度	T	温度		



#### 【熱回収装置】

ラジエーター部: 冷却水循環経路の制御による熱回収  
排気ガス: 伝熱面積7.5 m<sup>2</sup>の熱交換器による熱回収

#### 【ガスエンジン式発電機】

発電量: 15kW (最大)・12 kW (常時)  
発電効率: 20%以上 (12 kW 運転において)  
使用ガス熱量: 5 MJ/m<sup>3</sup> (1,200 kcal/m<sup>3</sup>) で運転可能  
補助燃料: エネルギー基準で50%未満の範囲でLPGの併用

35

## ペレット 各種CO2排出削減対策の検討

### 高効率機器等の導入によるエネルギー削減効果の定量評価

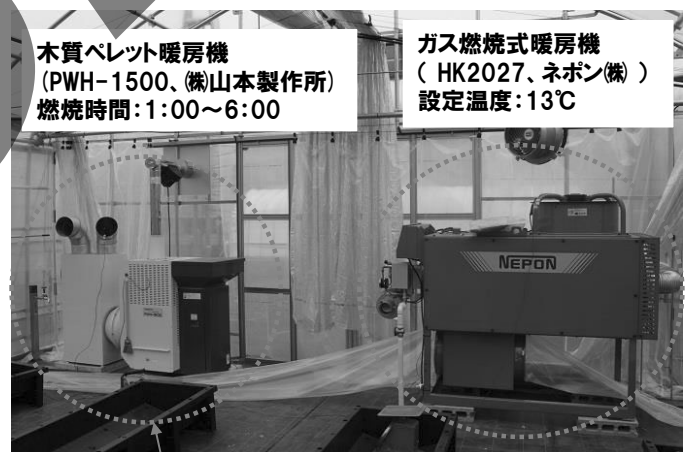


ハイブリッド運転ハウス  
(ペレット+ガス暖房機)

慣行ハウス  
(ガス暖房機のみ)

#### 実験ハウス

間口7.2m×奥行16.2m×軒高2.5m  
面積: 約116m<sup>2</sup>  
体積: 約400m<sup>3</sup>  
フィルム資材: P0、暖房時保温カーテンを閉



木質ペレット暖房機  
(PWH-1500、(株)山本製作所)  
燃焼時間: 1:00~6:00

ガス燃焼式暖房機  
(HK2027、ネボン(株))  
設定温度: 13℃

#### 暖房機の設置風景

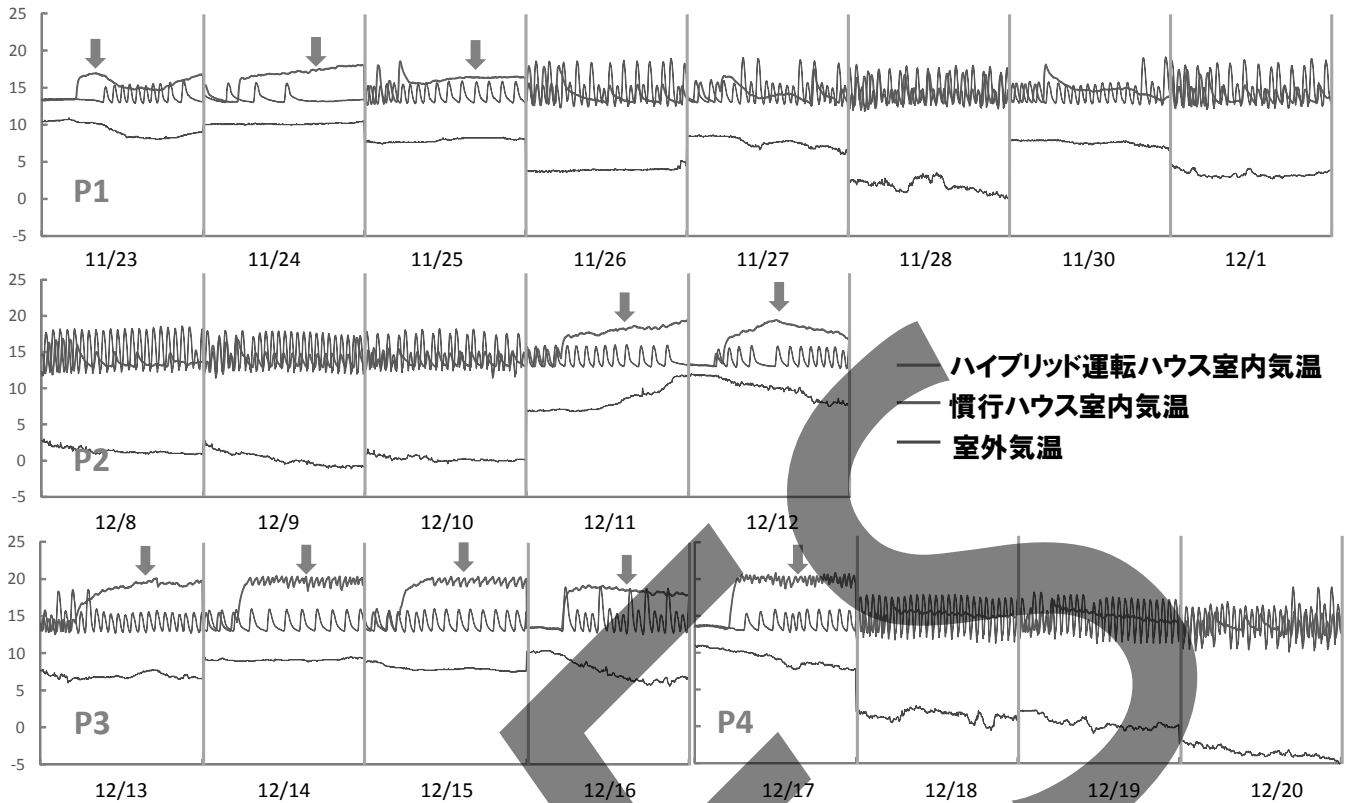
#### ペレット暖房機の燃焼モード

P1: 1.2 kg/h  
P2: 1.8 kg/h  
P3: 2.3 kg/h  
P4: 2.9 kg/h

ペレットならびにガス暖房機の吸込みおよび吹出し温度、風量から燃焼熱量を計算

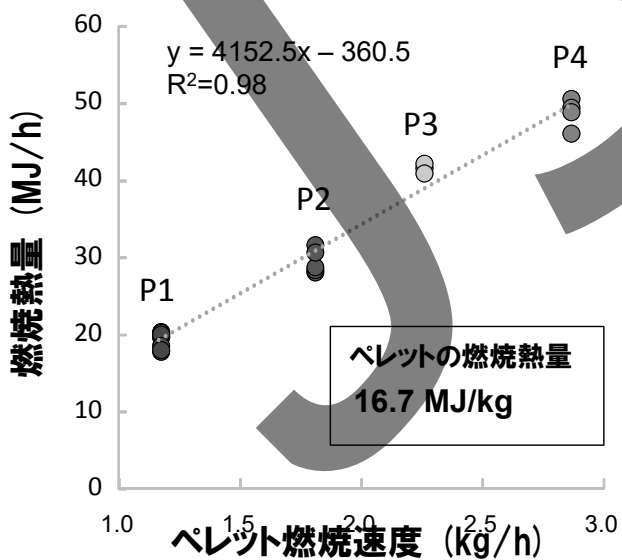
36

暖房時の気温の推移 (0:00~6:00)

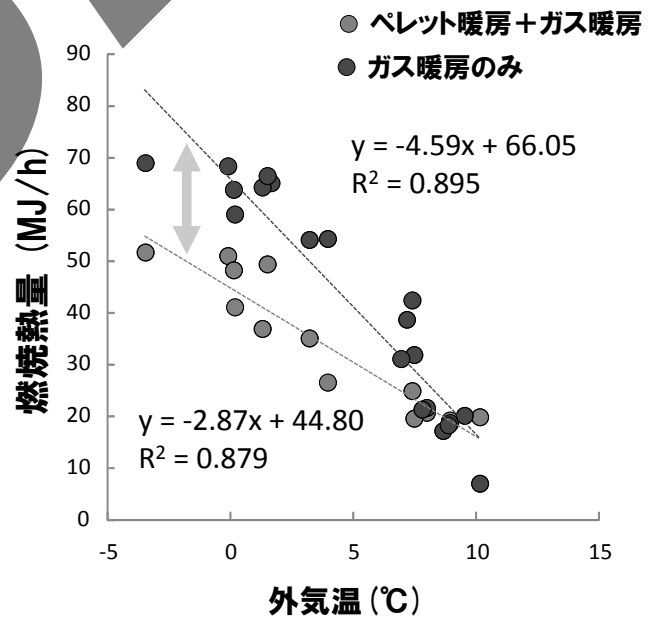


↓ 気温が高かった日はペレット暖房機の燃焼量が過剰

ペレット燃焼速度と燃焼熱量



外気温と燃焼熱量との関係

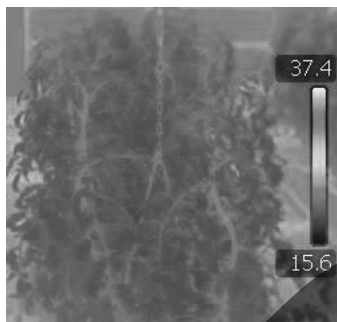


$$\text{燃焼速度(kg/h)} = -0.17 \times \text{外気温(°C)} + 2.66$$

ペレット暖房機とガス焚き暖房機を併用しハイブリッド運転を行うことによって熱利用効率が向上  
外気温に連動して燃焼速度を調整することで、化石燃料の大幅の削減が可能

施設園芸へのコジェネレーション導入の設計・評価(廃熱による局所加温)

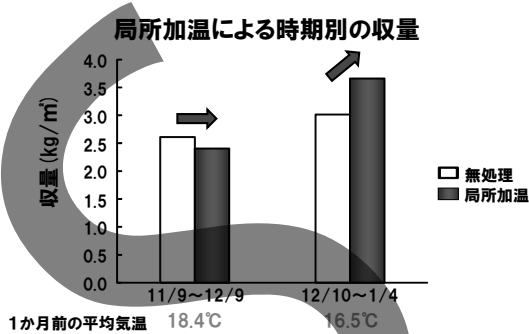
無処理



局所加温



\* 栽培概要  
 - 供試品種: トマト‘アニモTY-10’  
 - 播種: 2015年8月10日,  
 定植: 9月3日, 局所加温開始: 9月29日  
 - 栽植密度: 2.5株/㎡  
 ロックウール耕かけ流し栽培  
 - ハウス内の最低夜温は13℃に設定。  
 \* 処理概要  
 - 局所加温処理: アルミ箔で被覆し光を遮断したLEDランプをトマトの群落内(根元から60cm高さ)に設置し、8時間(8:00-16:00)連続照射。



局所加温によるトマト生育への影響

低温期のトマト栽培において40℃前後の局所加温によって成長および収量向上に効果的であるが、その効果は栽培期間中の気温条件に影響される

展望 脱化石燃料 施設園芸

農業でのICT利用は注目を集めつつあり、メーカーによる生産環境管理に注目したシステムが導入され始めている。

現状で環境管理・制御とエネルギーマネージメントとは直接的な連動はしておらず、高度化してゆく環境管理におけるエネルギー消費の状況は不明。

また、実際のエネルギー消費について、生産者サイドでも詳細に把握していないのが現状。

エネルギー利用の見える化やエネルギーマネージメントによる管理・運用の改善および最適化の試行、具体的な施設園芸の生産現場における省エネルギー機器(ヒートポンプやコジェネレーション)の導入の実証といったソフト・ハード両面のアプローチが必要。

今後、農林業分野でのエネルギー起源CO2排出削減に対する総合的な方策の提案に展開

# 施設園芸における 資源の多面的利用 →最大化

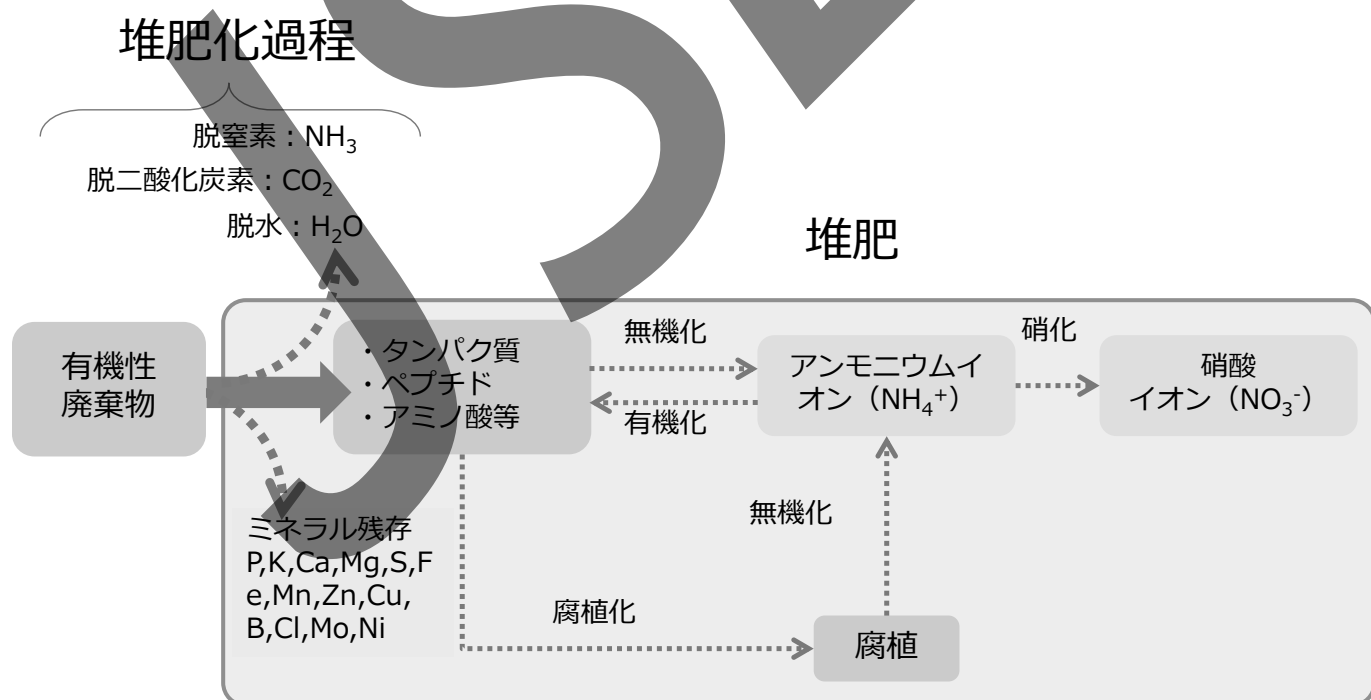


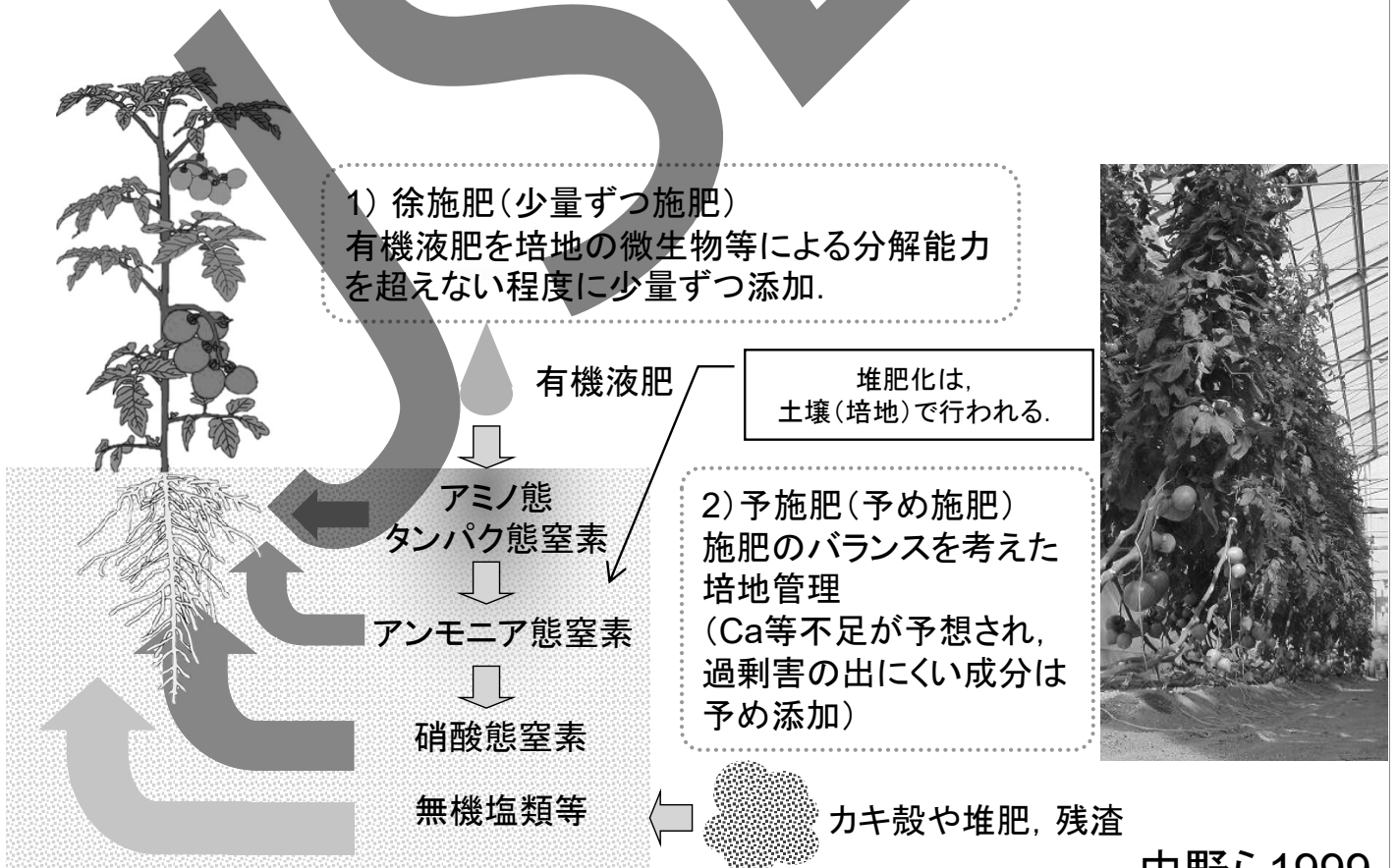
図4 堆肥化過程と窒素の形態変化



化学液肥区      堆肥区      堆肥 + 有機液肥区

図5 窒素主成分型有機液肥の追肥効果

## バランスを考えた量管理有機物施用



# CSLによる追肥は効果的

堆肥



16.8t/10a  
8.4t/10a  
4.2t/10a  
0t/10a

堆肥+CSL



16.8t/10a  
8.4t/10a  
4.2t/10a  
0t/10a +CSL

## 循環の思想

エネルギーは太陽から  
資源は循環利用

# 私たちの未来

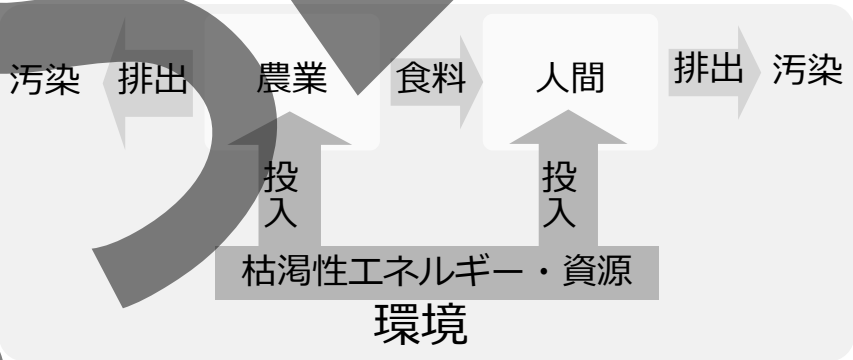
どのような農業林水産業をイメージしますか？



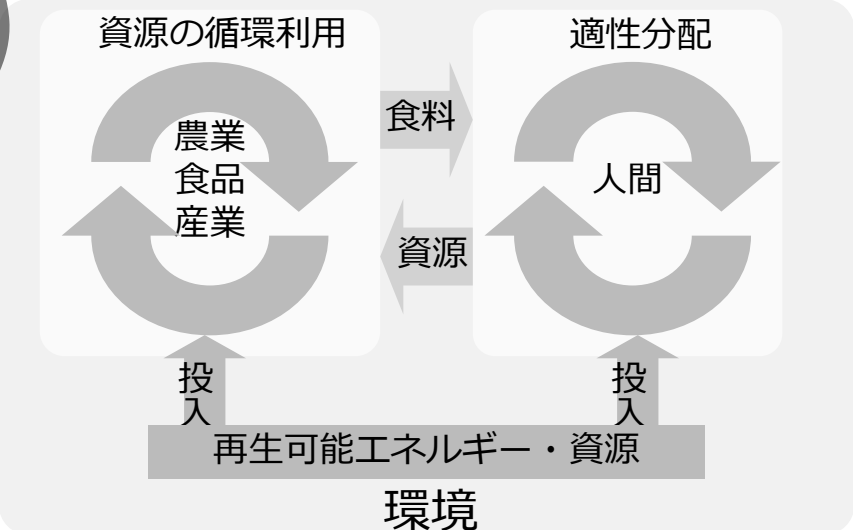
未来は「今、我々が何をするか」にかかっている。ガンジー

自然エネルギーを活用した低投入循環型の農業技術

これまでの  
農業技術



これからの  
農業技術





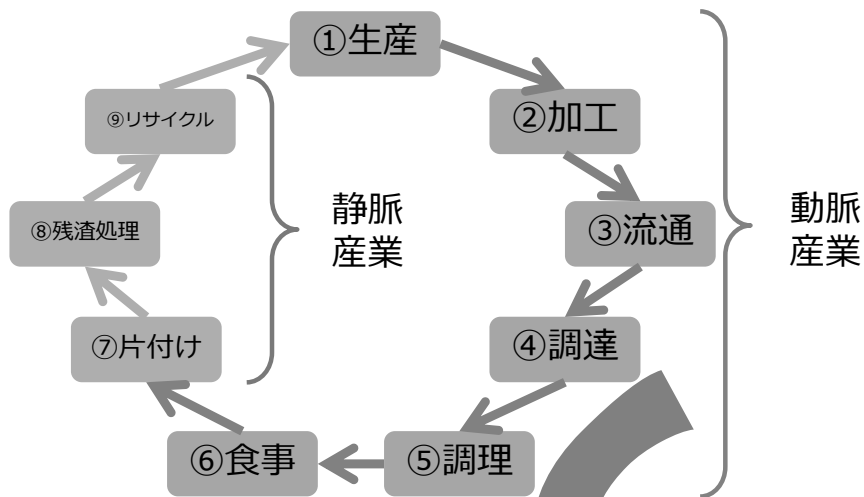


図7 食の9ステージモデル

9次化モデルとも呼ばれ、1～6次産業は動脈産業、7～9次産業は静脈産業と位置づけられる。  
妹尾(2013)をもとに作成

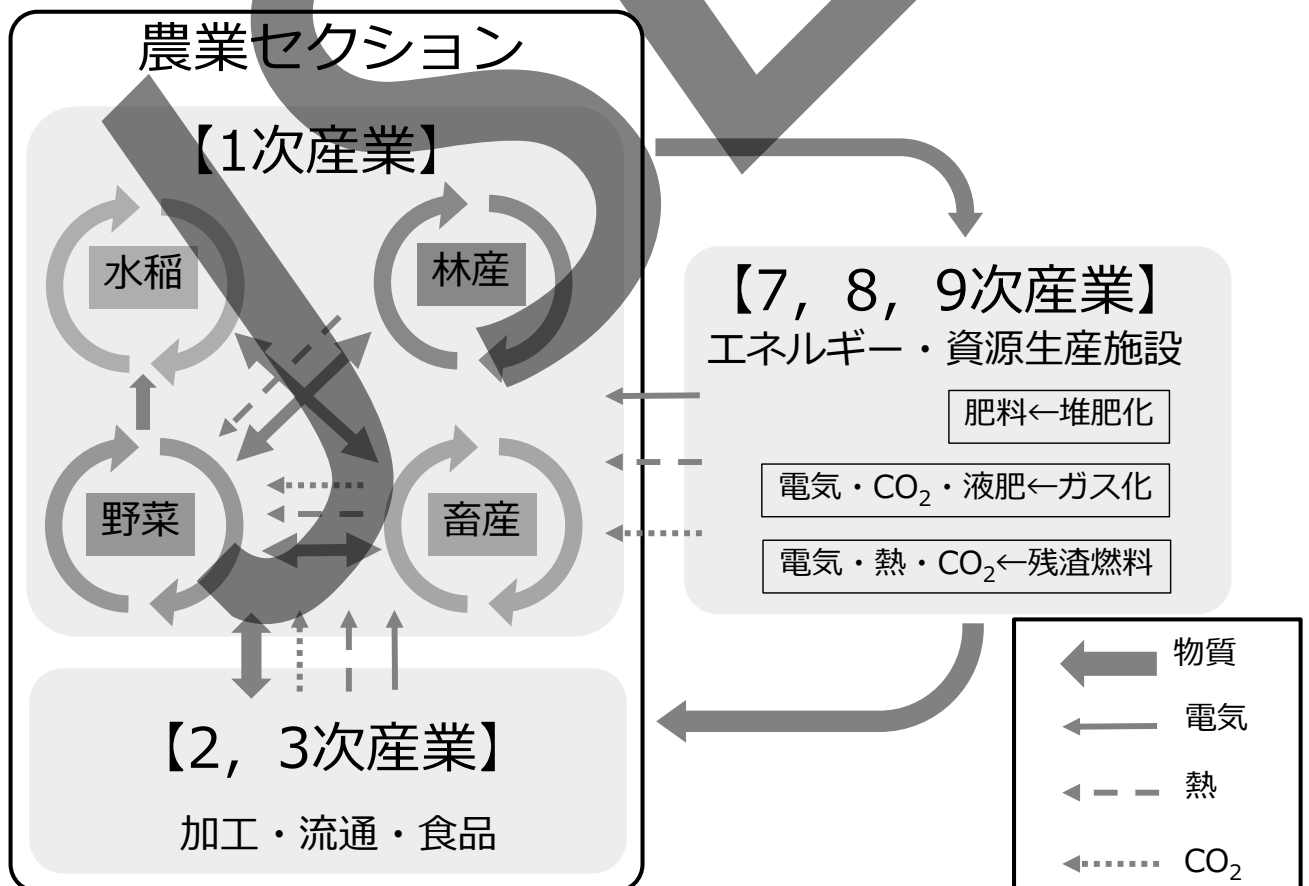


図6 エネルギー・資源の地域連携多重利用