

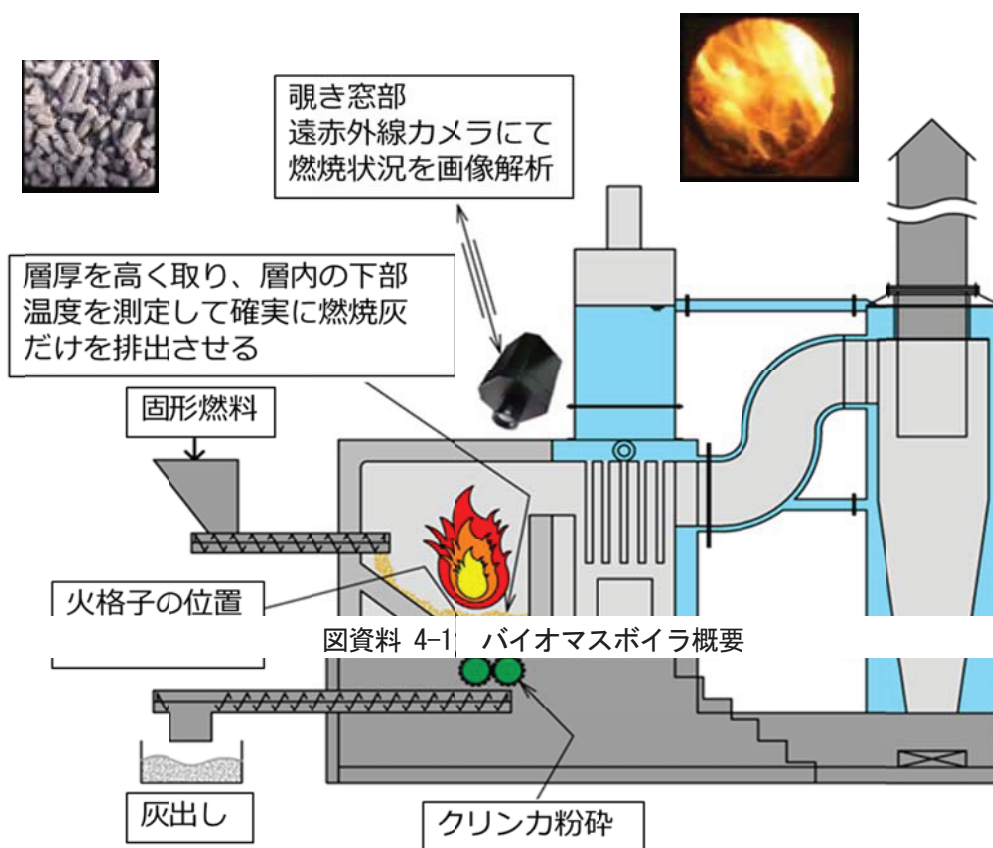
4. 固形燃料の利用技術

4.1 地産地消型バイオマスボイラ（ビニルハウス熱源）

4.1.1 背景

現状、我が国では、下水汚泥固形燃料の利用先の多くが石炭火力発電所であるが、需要と供給の関係から長距離輸送を伴っているケースが多い。過大な輸送距離が導入障壁になることも想定される。従って、石炭火力所の立地・形式にとらわれない石炭火力発電所以外での利用形態を確立することは革新的技術を普及拡大する観点から重要である。

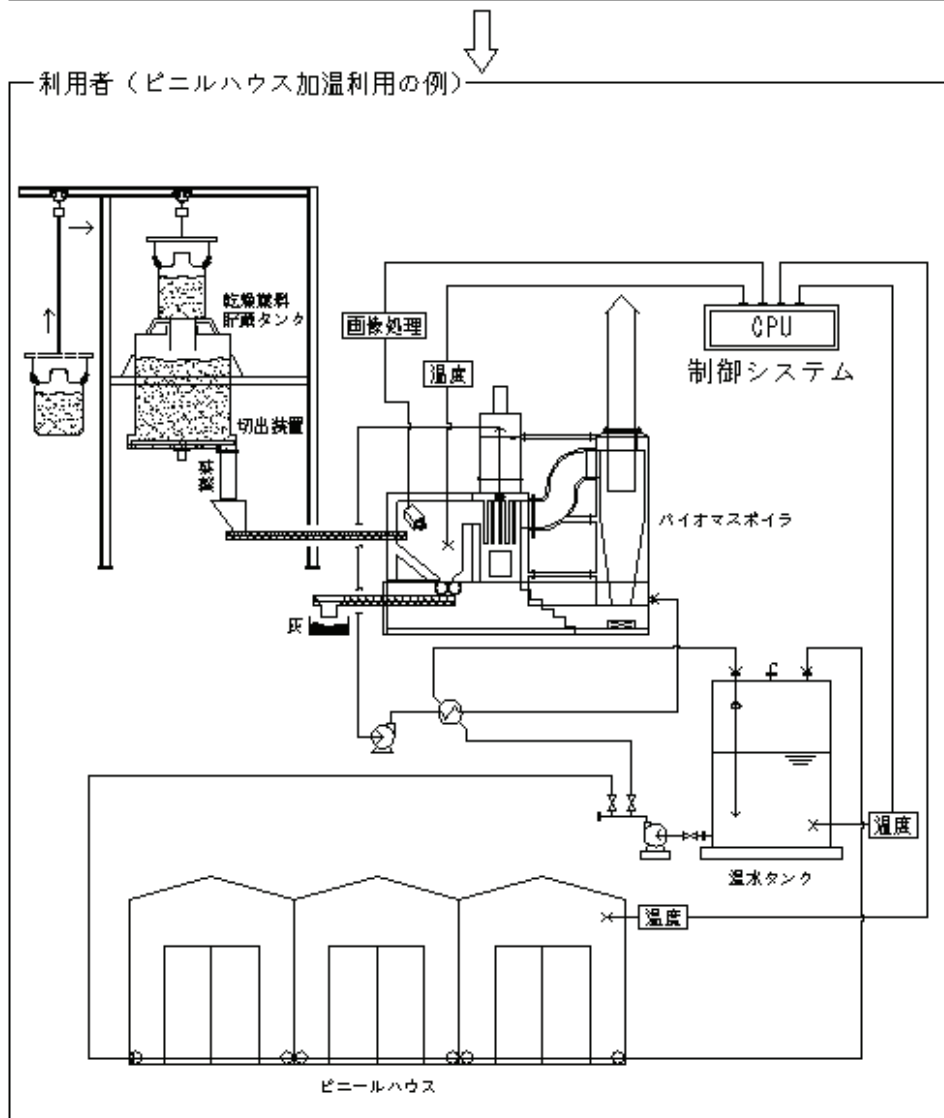
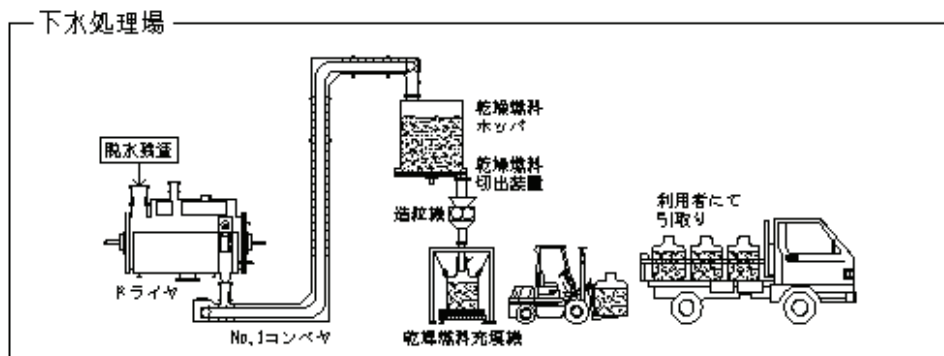
研究体では、革新的技術を国内外に普及展開するためには、革新的技術で製造した固形燃料の持続可能な利用形態の構築が不可欠と考え、委託研究と並行して独自に固形燃料を専焼できる地産地消型バイオマスボイラの開発を行っており、実証試験終了後も自主研究にて継続している。



図資料 4-1 バイオマスボイラ概要

4.1.2 利用形態事例

本機は、温水ボイラであり、ビニルハウスの加温、植物園温室の加温、病院や入浴施設加温等の需要を見込んでいる。図資料 4-2 にビニルハウス加温での利用形態事例を紹介している。このように利用者引取りによる地域循環が確立できれば、下水処理場における汚泥の産業廃棄物処分費用の低減が可能となる。



図資料 4-2 固形燃料専焼バイオマス温水ボイラ（開発中）

4.1.3 導入例での試算

1. 条件：

外気温度：3℃

ビニルハウス内の必要温度：30℃

ビニルハウス寸法（1棟当たり）：間口6m×奥行き28m×軒高さ3.1m

ビニルハウス構造：3棟連結型×10基



図資料 4-3 試算モデルのビニルハウス

ビニルハウスの暖房負荷計算式：5訂版 施設園芸ハンドブック（日本施設園芸協会）

固形燃料の輸送方法：利用者による引取り

維持管理方法：着火，灰出しのみ手作業，その他は自動管理

灰の処分方法：土壌改良材として利用

A重油の低位発熱量：36.1 MJ/L

A重油単価：91 円/L

固形燃料専焼のバイオマス温水ボイラ能力：232.6kw(200,000kcal/hr)（現在開発中）

4.1.4 試算結果

試算結果を表資料 4-1 に記載する。流入汚水量 5 万m³/日規模から排出する固形燃料量は、ビニルハウス 30 棟の加温燃料に相当する。固形燃料の利用には固形燃料専焼のバイオマスボイラが必要となり、燃料購入費の削減による経費回収年を試算すると約 2 年となった。ボイラの耐用年数と比較して事業として採算が見込まれた。発生する灰については、重金属含有量試験，溶出試験の結果を踏まえ、利用者側で土壌改良材等としての利用を想定することができれば、十分な需要が期待できる。

表資料 4-1 ビニルハウス導入試算例

項目	記号、数式	数値	単位
冬場外気温度	θ_o	3.0	°C
ハウス内温度	θ_i	30.0	°C
構造		3棟連結、中間仕切りなし	
ビニルハウス棟数	N	30	棟
1棟当たりの間口	L_1	6.0	m
奥行き	L_2	28.0	m
肩高さ	L_3	2.5	m
軒高さ	L_4	3.1	m
ハウス容積(1棟)	V	470.4	m ³
ハウス屋根部表面積(1棟)	$A_1 = \sqrt{[(L_1/2)^2 + (L_4 - L_3)^2]} * L_2 * 2$	171.3	m ²
ハウス側壁部表面積(妻面片側)	$A_2 = L_1 * L_3 + L_1 * (L_4 - L_3) / 2$	16.8	m ²
ハウス側壁部表面積(側面片側)	$A_3 = L_2 * L_3$	70.0	m ²
ハウス全表面積(3棟分)	$A_g = A_1 * 3 + A_2 * 6 + A_3 * 2$	754.8	m ²
ハウス床面積(1棟分)	A_s	168.0	m ²
被覆材の種類		塩ビフィルム	
被覆材の熱貫流率	h_t	6.40	W/m ² .K
保温被覆材の種類		塩ビフィルム1層カーテン	
保温被覆の熱節減率	ϵ	0.40	
単位被覆面積当たりの貫流熱負荷	$q_t = h_t * (\theta_i - \theta_o) * (1 - \epsilon)$	103.68	W/m ²
隙間換気伝熱係数	h_v	0.35	W/m ² .K
単位被覆面積当たりの隙間換気伝熱負荷	$q_v = h_v * (\theta_i - \theta_o)$	9.45	W/m ²
単位被覆面積当たりの地表伝熱負荷	q_s	0.00	W/m ²
風速に対する補正係数	γ	1.1	
暖房負荷	$Q_g = [A_g * (q_t + q_v) * N / 3 + A_s * N * q_s] * \gamma$	939.3	kw
		3381.4	MJ/hr
A重油の低位発熱量	H_{L-Aoil}	36.9	MJ/L
A重油ボイラ効率	η	90.0	%
1日でのA重油使用量	$\omega_{Aoil} = (Q_g / H_{L-Aoil}) / (\eta / 100) * 24$	2443.6	L/日
冬季1シーズンの加温時期 11月中旬~3月末	D	135.0	日
1シーズンのA重油使用量	$W = \omega_{Aoil} * D / 1000$	329.9	kL/年
A重油単価	¥ _{Aoil}	91.0	円/L
A重油焚きボイラで加温する場合の1シーズンコスト	$C = W * ¥ / 1000$	30.0	百万円/年
革新的技術固形燃料の低位含水率(含水率20%)	H_L	14.4	MJ/kg
必要固形燃料	$S = Q_g / H_L * 24 / 1000$	5.6	t/日
	流入汚水量規模 5万m ³ /日で供給可能		
バイオマスボイラの能力	Q_B	232.6	kw
バイオマスボイラの必要台数	$n = Q_g / Q_B$	4	台
1ユニット(バイオマスボイラ+温水設備)価格	¥	15.0	百万円
総投資コスト	$\Sigma ¥ = ¥ * n$	60.0	百万円
回収年限	$y = \Sigma ¥ / C$	2.0	年

4.2 肥料利用

4.2.1 背景

本革新的技術の固形燃料は、汚泥中有機物の分解促進により有機物の安定化を図ることで、肥料としての利用も期待される。燃料利用以外に、肥料利用形態を確立することは、更に革新的技術を普及拡大させることに繋がる。

長崎市、長崎総合科学大学、三菱長崎機工株式会社共同研究体は、平成 26 年度以降の自主研究として固形燃料の肥料利用のための各種生育試験を行っている。

4.2.2 栽培試験

平成 26 年 4 月から東部下水処理場内にプランターを設置して事前確認のための簡易栽培試験を行った。結果良好であったため、平成 26 年の秋以降に、長崎市農業センタービニルハウス内にて大規模な栽培試験を行った。

(1) 東部下水処理場における栽培試験

1) 試験方法

<肥育試験条件>

① 肥育作物：チンゲン菜

肥育試験開始前に、双葉、四つ葉、本植えと進む毎に、苗の生育状況を観察し、各コンテナの生育バランスが均一化するように間引きを実施した。その後、肥料（固形燃料）を各コンテナへ与え、比較試験を実施した。

② 肥育条件

コンテナ 1：肥料（固形燃料）を土中に鋤き込んだもの

コンテナ 2：肥料（固形燃料）を表層に散布したもの

コンテナ 3：比較対照用として土壌のみ

③ 肥育試験期間

平成 26 年 4/11～5/30 の 49 日間

④ 施肥方法

1t-固形燃料/10a を 3 回に分けて施肥した。

1 回あたり 330kg-固形燃料/10a ベースで施肥

プランターサイズ 75cm×32cm=2,400cm²

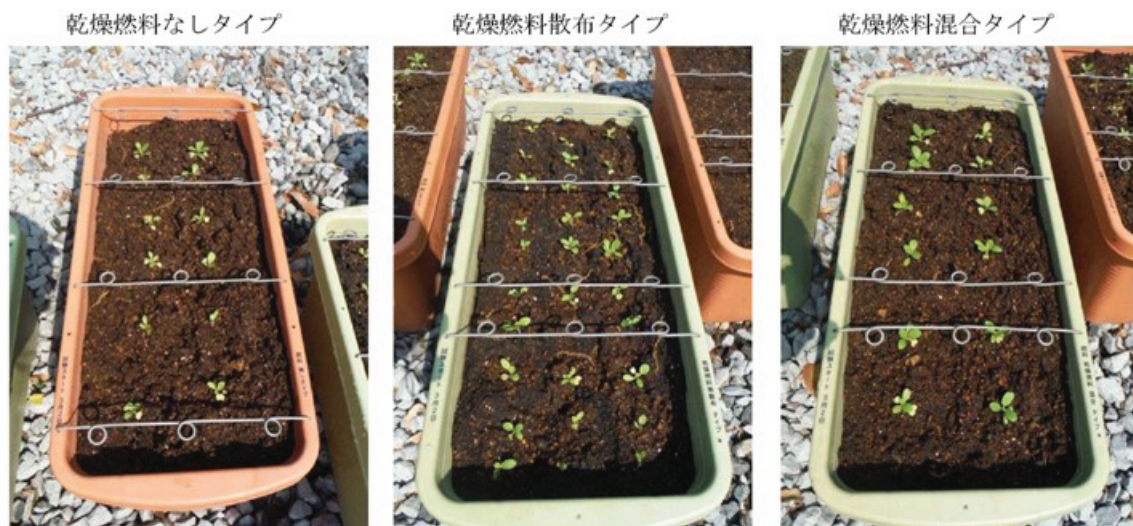
$330,000(g)/1,000(m^2) \times 2,400/10000=79(g\text{-固形燃料}/1\text{ 回あたり})$

⑤ 施肥時期

4/11：1 回目 4/22：2 回目 4/30：3 回目

(2) 試験結果

図資料 4-1～図資料 4-2 に肥育試験状況を記載する。固形燃料の施肥により肥効が確認された。



図資料 4-1 試験開始 (2014. 4. 11 肥料供試開始)



図資料 4-2 11日経過後 (2014. 4. 22 肥料追肥 1回目)



図資料 4-3 19日経過後 (2014. 4. 30 肥料追肥 2回目)



図資料 4-4 26日経過後 (2014. 5. 7)

乾燥燃料なしタイプ



乾燥燃料散布タイプ



乾燥燃料混合タイプ



図資料 4-5 41 日経過後 (2014. 5. 23)

乾燥燃料なしタイプ



乾燥燃料散布タイプ



乾燥燃料混合タイプ



図資料 4-6 試験終了 49 日経過後 (2014. 5. 30)

(3) 長崎市農業センター

1) 栽培試験方法

長崎市農業センター内のビニルハウスにて栽培試験を行った。試験は葉茎菜類としてハウレン草，根菜類としてカブで実施しており，本稿ではハウレン草の結果を例示する（**図資料 4-7**～**図資料 4-9**）。肥料設計は窒素基準とし，次頁に肥料設計書及び畝割りを記載している。

①肥料成分表

%	牛ふん堆肥	コンポスト	固形燃料	化成肥料	ボカシ堆肥	牛ふん+ボカシ(65:5)	コンポスト+ボカシ(65:5)
窒素量	2.0	3.68	3.19	10	3.48	2.11	3.67

②畝あたりの施肥量詳細

畝あたりの施肥量		0.5倍施用区の畝	1倍施用区の畝	2倍施用区の畝
1区	牛ふん堆肥	10	20	40
	化成肥料	1.4	1.4	1.4
	合計(kg)	11.4	21.4	41.4
2区	牛ふん堆肥 (ボカシ堆肥5kg含む)	10	20	40
	合計(kg)	10	20	40
3区	コンポスト	10	20	40
	化成肥料	1.4	1.4	1.4
	合計(kg)	11	21.4	41.4
4区	化成肥料	0.7	1.4	2.8
	合計(kg)	0.7	1.4	2.8
5区	コンポスト (ボカシ堆肥5kg含む)	10	20	40
	合計(kg)	10	20	40
6区	固形燃料(未コンポスト)	10	20	40
	合計(kg)	10	20	40

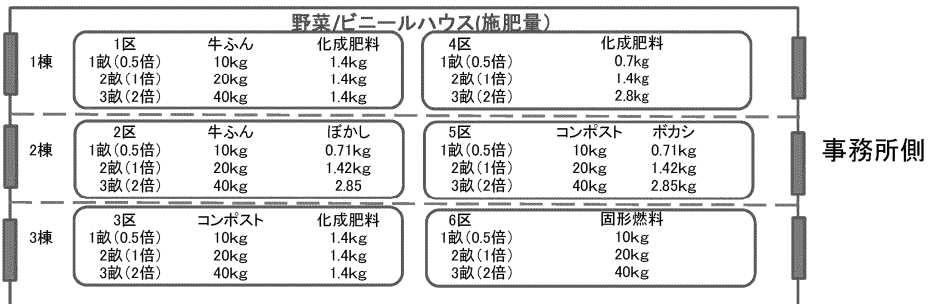
③畝あたりの窒素量詳細(推定)

畝あたりの窒素量(kg-N/畝)		0.5倍施用区	1倍施用区	2倍施用区
1区	牛ふん堆肥	0.20	0.40	0.80
	化成肥料	0.14	0.14	0.14
	合計	0.34	0.54	0.94
2区	牛ふん堆肥 (ボカシ5kg含む)	0.21	0.42	0.84
	合計	0.21	0.42	0.84
3区	コンポスト	0.37	0.74	1.47
	化成肥料	0.14	0.14	0.14
	合計	0.51	0.88	1.61
4区	化成肥料	0.07	0.14	0.28
	合計	0.07	0.14	0.28
5区	コンポスト (ボカシ5kg含む)	0.37	0.73	1.47
	合計	0.37	0.73	1.47
6区	固形燃料(未コンポスト)	0.32	0.64	1.28
	合計	0.32	0.64	1.28

④試験区あたりの施肥量

施肥量(kg)	牛ふん	化成肥料	コンポスト	固形燃料
1区 牛ふん堆肥+化学肥料	70.0	4.2		
2区 牛ふん堆肥+ボカシ	70.0			
3区 コンポスト+化学肥料		4.2	70.0	
4区 化学肥料		4.9		
5区 コンポスト+ボカシ			70.0	
6区 固形燃料(未コンポスト)				70.0
合計	140.0	13.3	140.0	70.0

注)コンポスト:固形燃料のコンポスト品



図資料 4-7 ほうれん草の栽培条件

2) 試験結果

全重量，地上重量，地下重量，葉枚数，葉長，葉幅等の分析結果を図資料 4-8 に示す。

肥料効果の判断は，決して重さや，高さだけではないが，重量や寸法も比較用の1区，2区，4区の数値と同等であることから本固形燃料は肥料効果があると考えられる。ただし，原料は下水汚泥由来であるため，肥料効果は処理場毎に検証が必要になる。

全重量：全体重量

地上重量：全体重量から地下重量（根の重量）を減じたもの

地下重量：根の重量

葉枚数：1株当たりの葉の枚数

葉長：茎部分を除いた葉の長さ

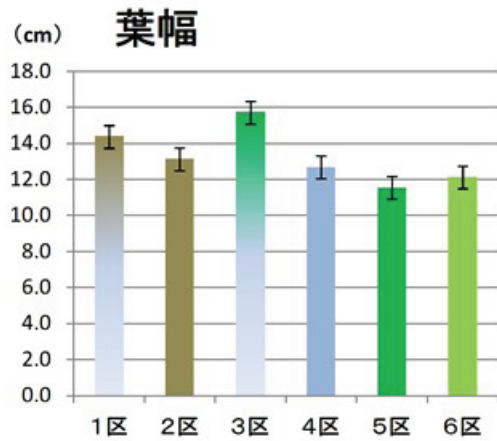
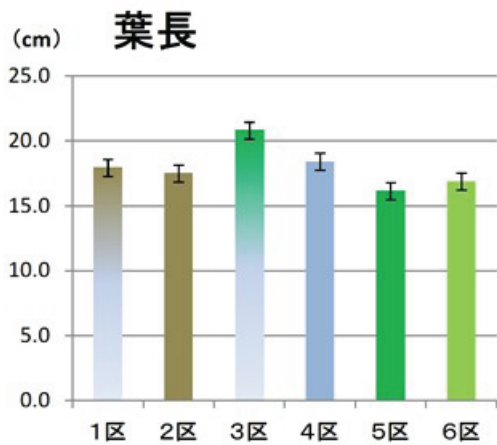
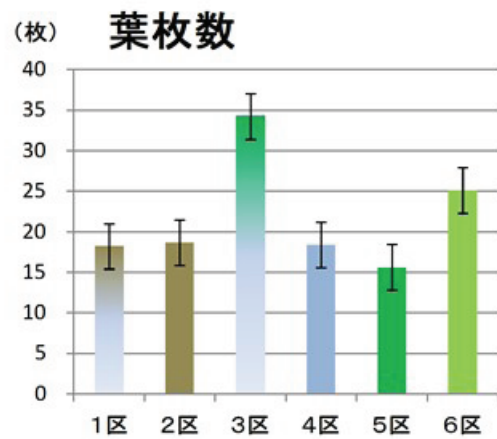
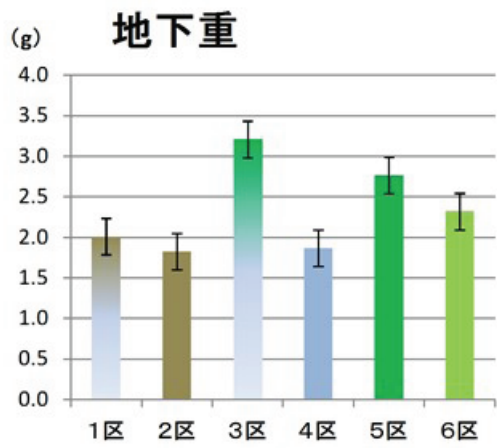
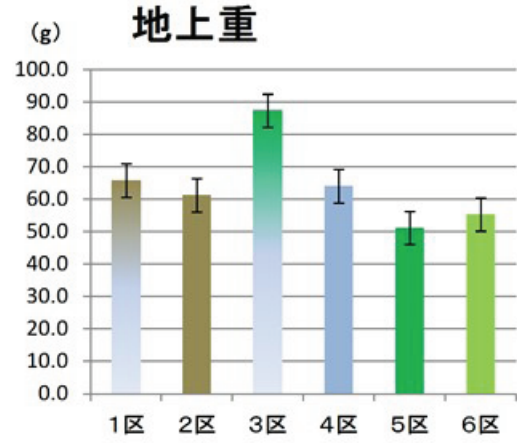
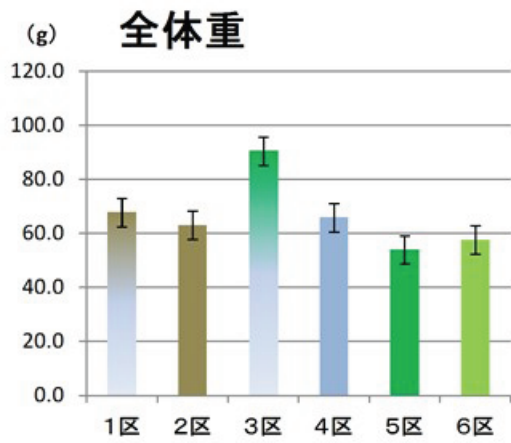
葉幅：葉の最大幅

草丈：根を除いた長さ

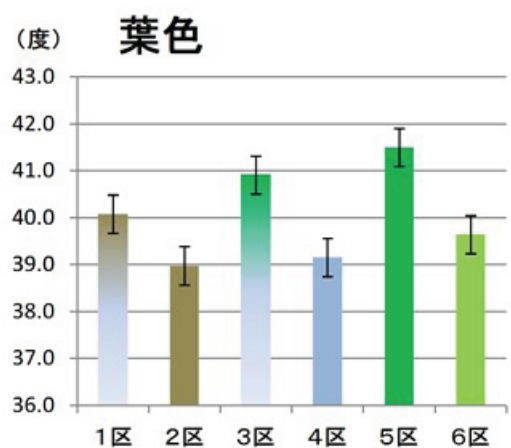
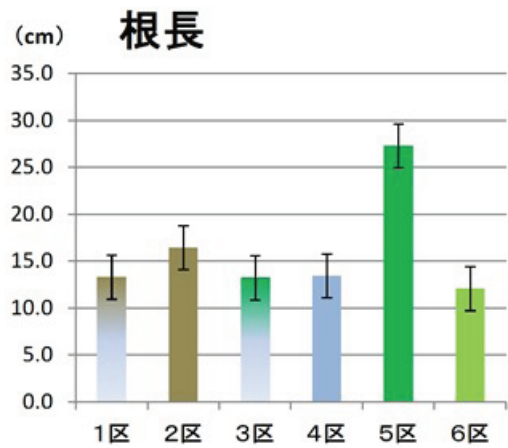
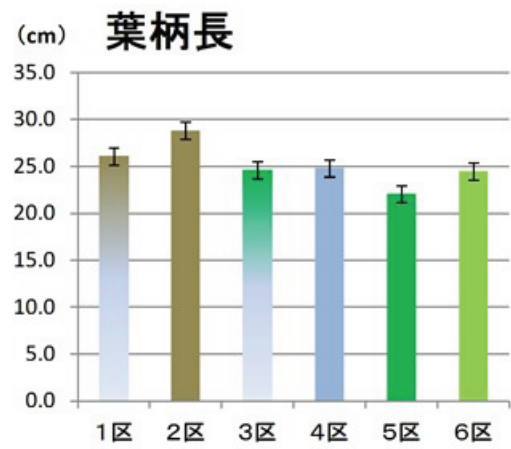
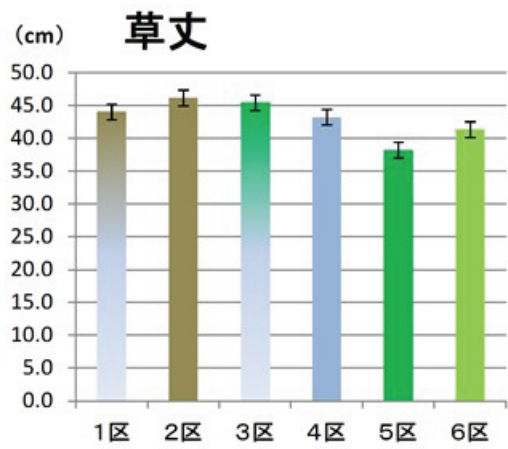
葉柄長：根の上部から葉の付け根までの長さ（所謂，茎長さ）

根長さ：根の長さ

葉色：葉の色（葉緑素量の SPAD 値）



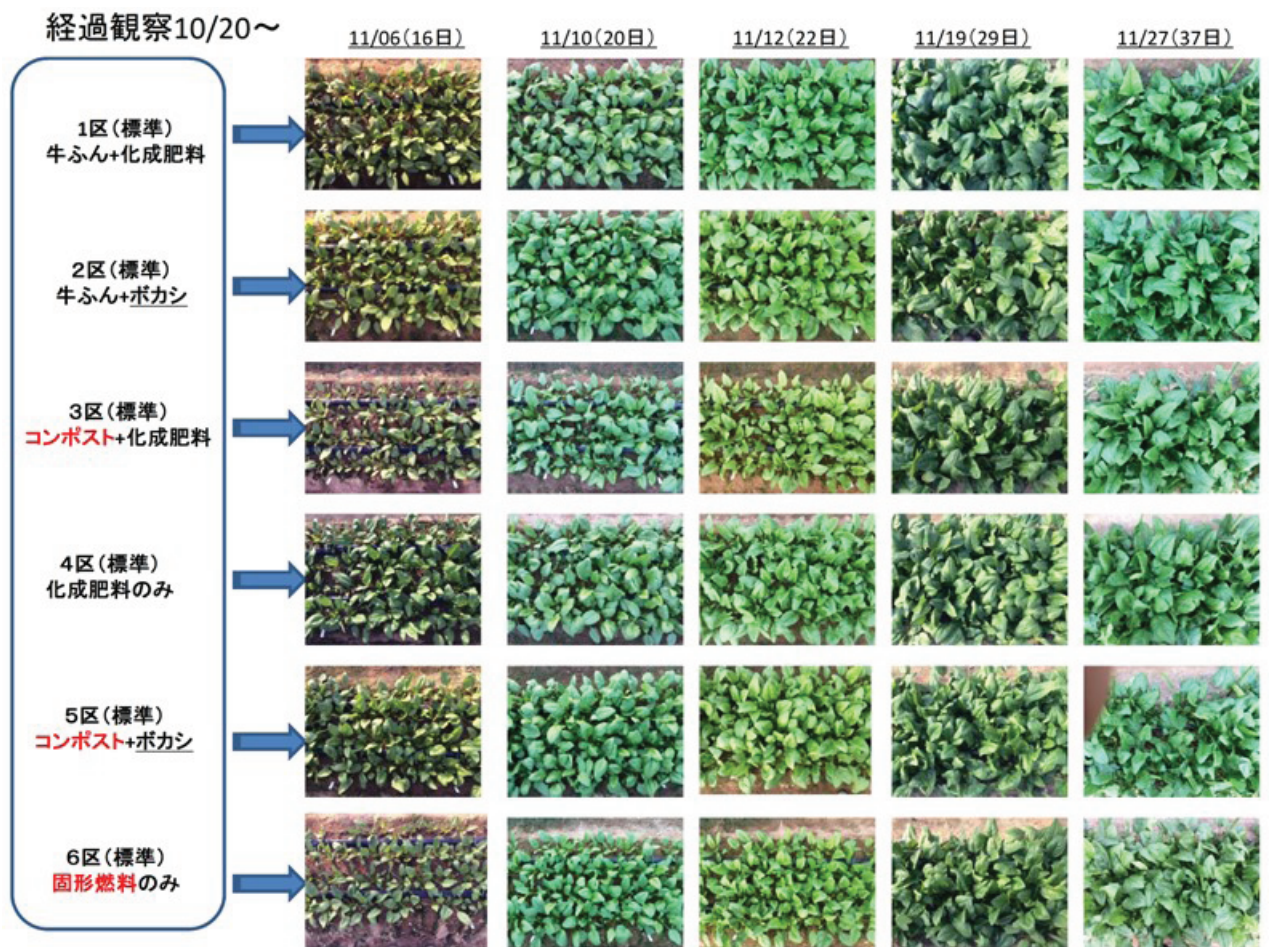
図資料 4-8 ほうれん草栽培結果 (1/2)



図資料 4-8 ほうれん草栽培結果 (2/2)



図資料 4-9 栽培試験風景



図資料 4-10 栽培試験 (各試験区の時経列写真)