

# 令和3年度地域内エコシステム技術開発・実証事業 成果報告

2022年3月17日  
シン・エナジー株式会社  
株式会社オムニア・コンチェルト

未来を創る 共に生きる  
**SymEnergy**



Copyright ©2020 SymEnergy Inc. All rights reserved.

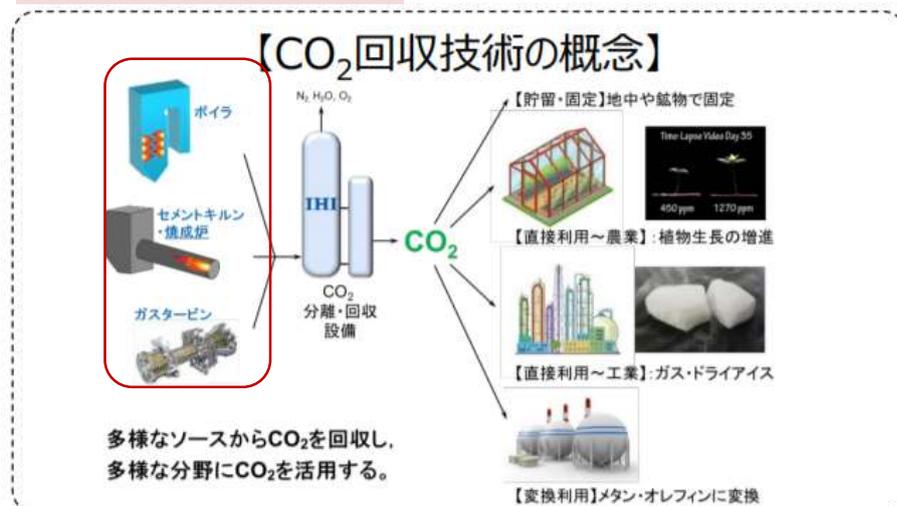


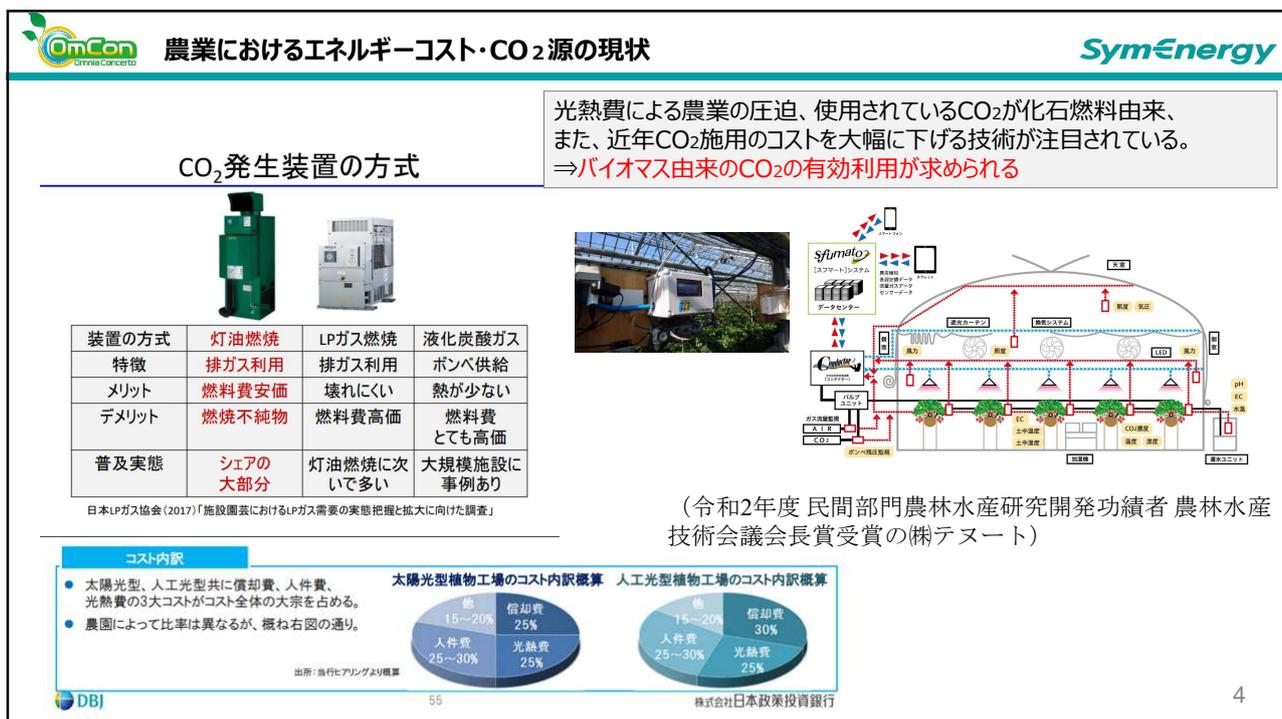
## CO<sub>2</sub>回収技術の概念

SymEnergy

バイオマス由来であれば、  
バイオマスカーボンニュートラルから  
カーボンマイナス（削減）に

経産省（2019）カーボンサイクル技術事例集  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon\\_recycling/pdf/tech\\_casebook.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon_recycling/pdf/tech_casebook.pdf)





CO<sub>2</sub>発生装置の方式

装置の方式	灯油燃焼	LPガス燃焼	液化炭酸ガス
特徴	排ガス利用	排ガス利用	ボンベ供給
メリット	燃料費安価	壊れにくい	熱が少ない
デメリット	燃焼不純物	燃料費高価	燃料費とても高価
普及実態	シェアの大部分	灯油燃焼に次いで多い	大規模施設に事例あり

日本LPガス協会(2017)「施設園芸におけるLPガス需要の実態把握と拡大に向けた調査」

CO<sub>2</sub>発生装置の方式による成分等の違い

燃料種		化石燃料焼きCO <sub>2</sub> 発生装置	加温機			バイオマス発電排ガス
			A	B	C	
二酸化炭素濃度	%	8~10	灯油 10	重油 10	木質ペレット 10	木質ペレット 12.1
硫酸化物濃度	ppm	-	-	300	100	検出限界以下
窒素酸化物濃度	ppm	検出限界以下※	100	100	100	190
一酸化炭素濃度	ppm	検出限界以下※	検出	検出	~1000	検出

※但し、二酸化炭素の発生量が多い場合に極微量検出

(ヒアリングによる参考値)

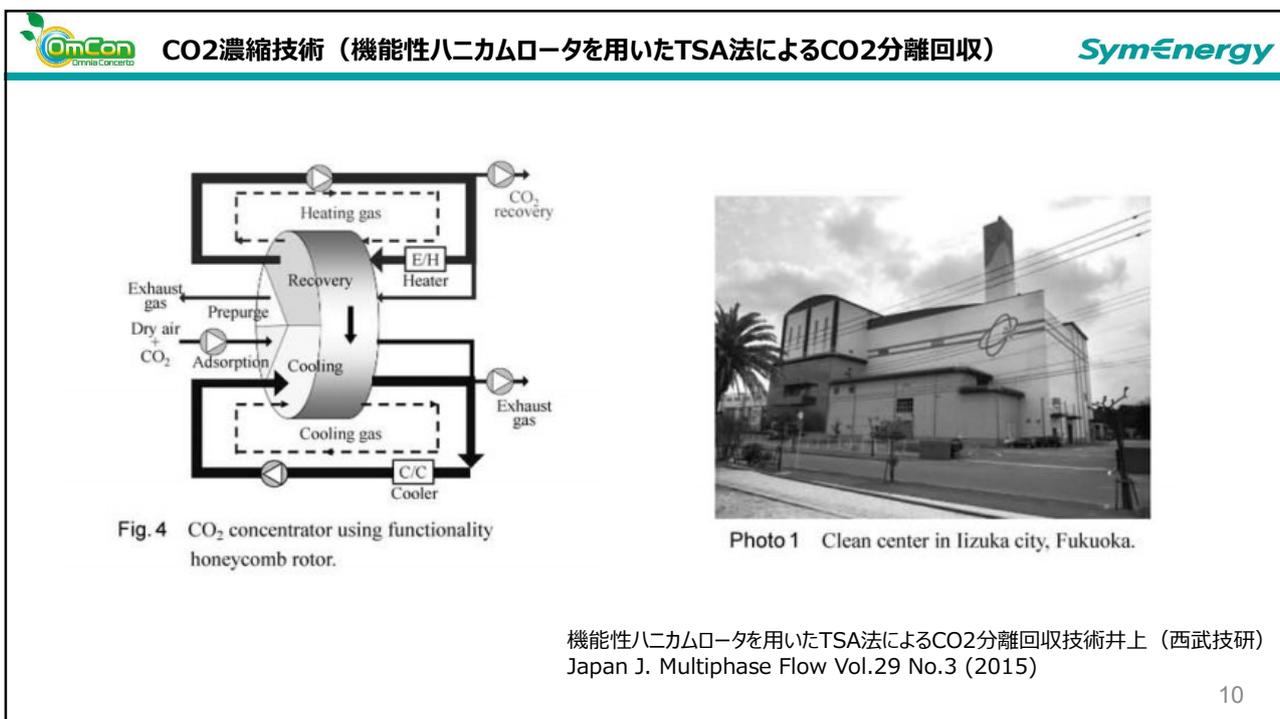
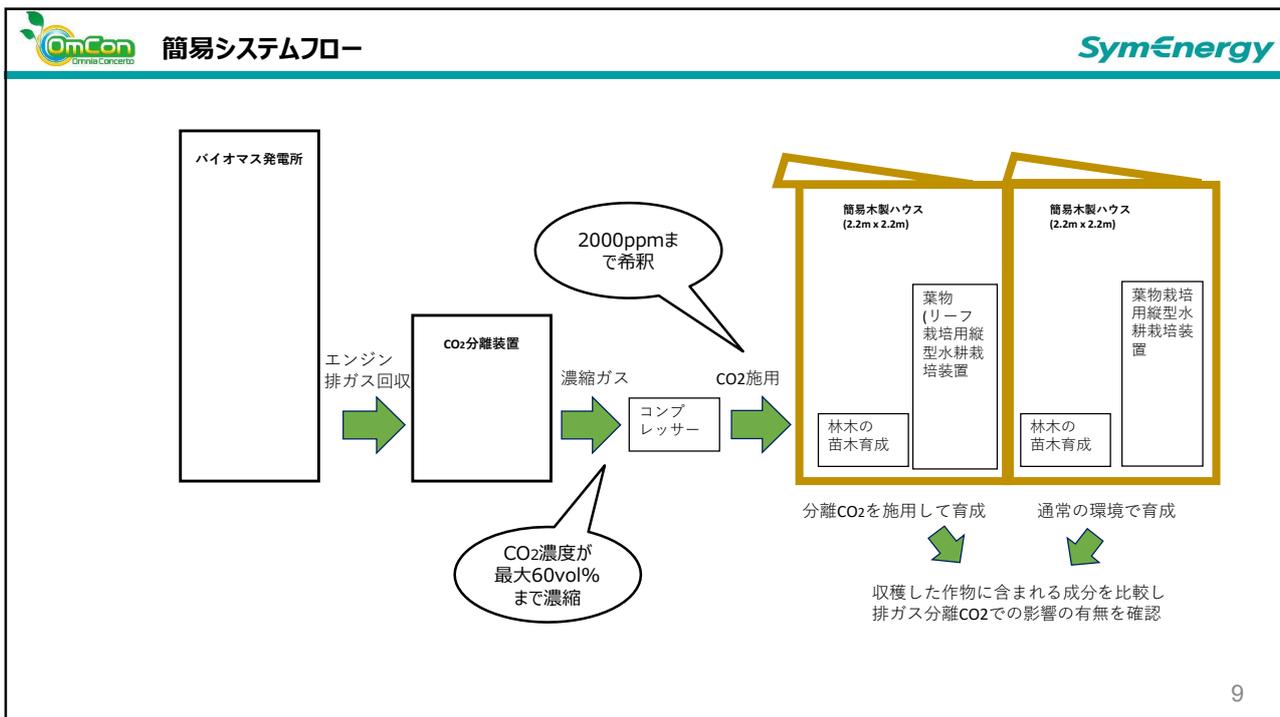
バイオマス発電所から排出される排気ガスは、既存の発生装置と同等の二酸化炭素のポテンシャルがある。SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, COの除去や浄化、対策などが適切に行われることで近隣における農業利用の可能性もある。さらには、濃縮することが可能であれば、今後普及拡大が見込まれる農林業向けのボンベ供給が可能となる。

「地域内エコシステム」構築が可能な小規模なバイオマス発電所にて、地元間伐材等で電気を生み出しながら、CHPから発生する熱や発電中に排出される排ガス中のCO<sub>2</sub>を施設園芸等に供給することで、地域型バイオマス発電所として、林業はもちろん、エネルギーコスト削減・CO<sub>2</sub>施肥による収量増加による農業への還元も可能なシステムが求められる。

しかし、排ガス中のCO<sub>2</sub>を濃縮する技術は存在するがその多くが大規模プラント向けの技術であり、地域内エコシステムで想定しているような小規模バイオマスに適用できるとは必ずしも言えない。

→そこで本事業では、「**農業ハウスや林業育種ハウスへのCO<sub>2</sub>ガス供給のための小型バイオマス発電所に適した排ガス浄化・濃縮プラントシステムの開発**」を目的とする。





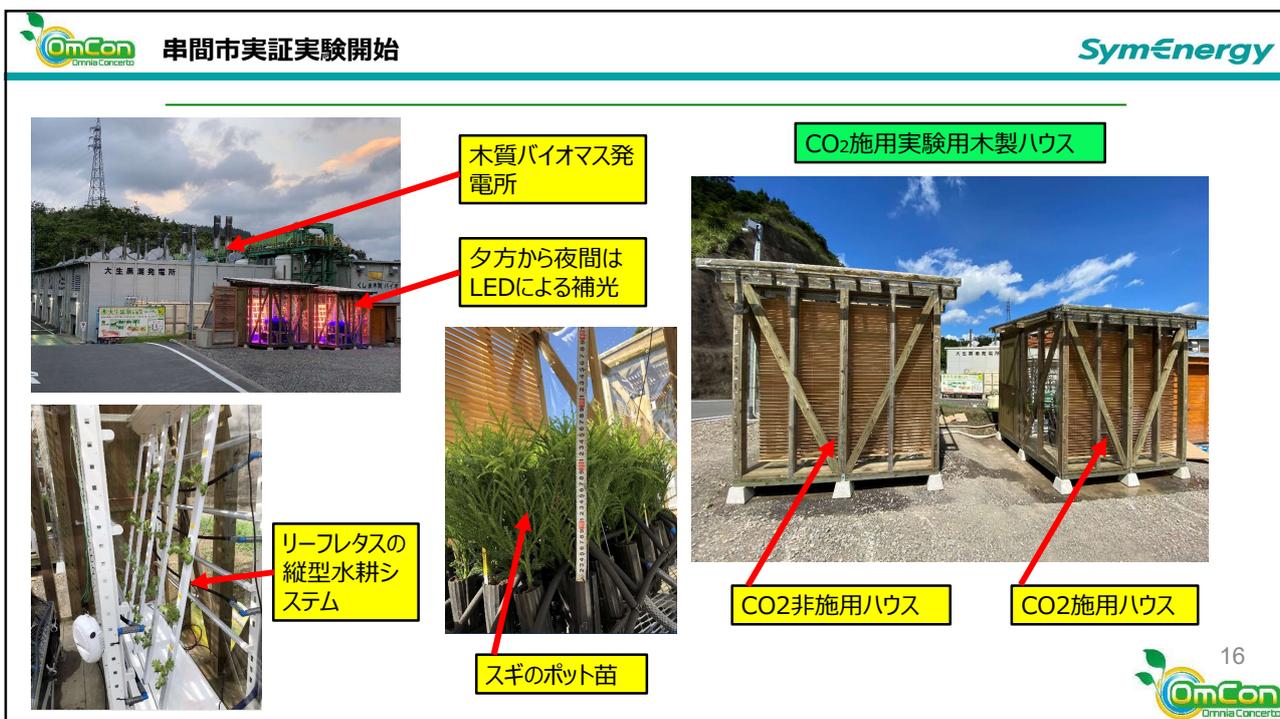
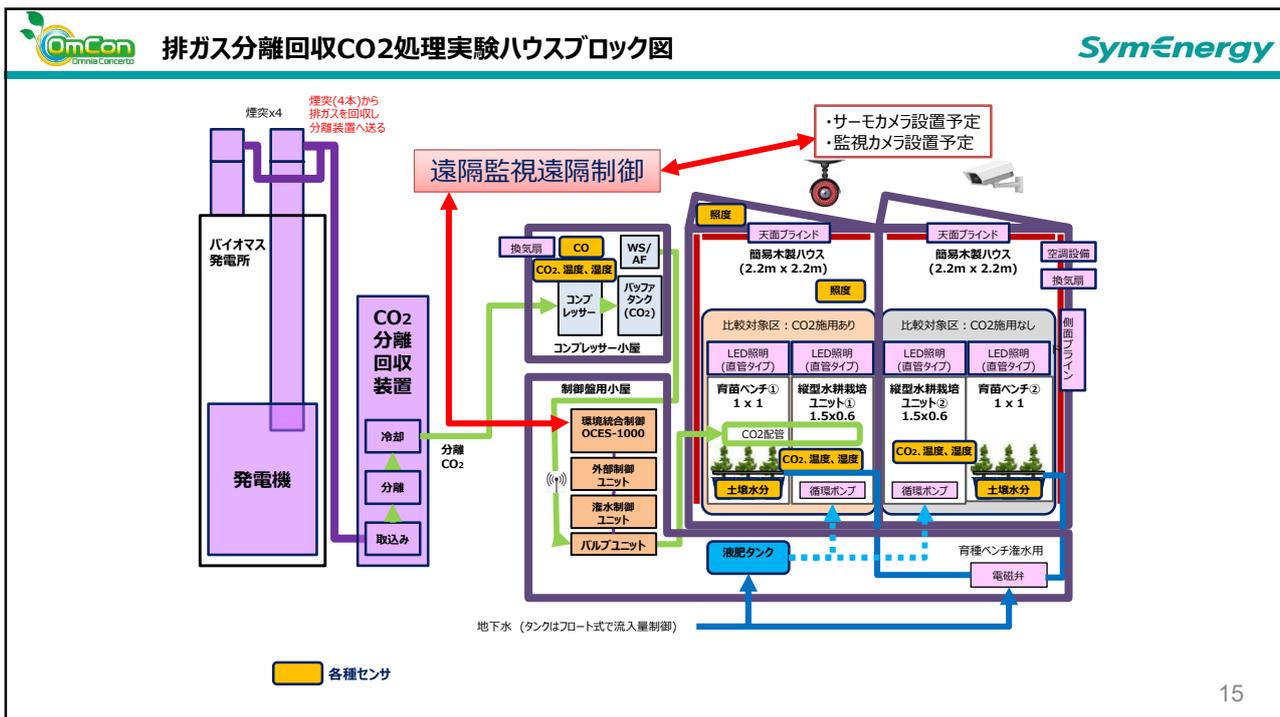


OmCon Orma Concerto		ガス分析結果		SymEnergy	
測定結果一覧					
事業主名		レイズネクスト株式会社			
測定施設名		大生黒潮発電所 排ガスCO <sub>2</sub> 濃縮実験設備 原ガス		大生黒潮発電所 排ガスCO <sub>2</sub> 濃縮実験設備 濃縮ガス	
測定日		令和3年9月6日			
測定項目		単位	測定結果		
硫黄酸化物濃度		ppm	5未満		
窒素酸化物濃度		ppm	100		
酸素濃度		%	10.9		
排出ガス水分		%	3.6		
排出ガス温度		°C	39		
排ガス組成	一酸化炭素	ppm	160		
	二酸化炭素	%	9.6		
	酸素	%	10.8		
	窒素	%	79.6		
原ガスをそのまま利用			濃縮後のガス利用		
CO <sub>2</sub> 2000 ppm で利用する場合（そのままの利用） 48 倍に希釈するため			CO <sub>2</sub> 2000 ppm で利用する場合 275 倍に希釈するため		
ハウス内ガス	NOX	2.08 ppm	ハウス内ガス	NOX	0.32 ppm
	CO	3.33 ppm		CO	0.19 ppm
	CO <sub>2</sub>	2000 ppm		CO <sub>2</sub>	2000 ppm

13

OmCon Orma Concerto		排ガス浄化・濃縮プラントの運転結果		SymEnergy	
○CO <sub>2</sub> 濃縮能力					
<p>原ガスCO<sub>2</sub>濃度9.1%に対し、CO<sub>2</sub>除去後の排ガス出口CO<sub>2</sub>濃度は、約3.5%。除去率60%だった。CO<sub>2</sub> 1m<sup>3</sup>/h抜出の場合、CO<sub>2</sub>濃度は、60%程度となり、回収率は、27%程度であった。残りの33%は、リーク等でロスしている（メーカー見解）</p> <p>実証事業後半の運転実績ではCO<sub>2</sub>濃縮度の低下傾向がみられ、装置の長期間運転の安定性は今後の課題と考える。</p>					
○分析結果考察					
<p>CO<sub>2</sub>濃度：9.6%→55.0%となっており計画通りの性能結果を得た。</p> <p>一方で、人体への影響成分が回収CO<sub>2</sub>ガス中NO<sub>x</sub>：88ppm、CO：51ppmとなっていた。CO<sub>2</sub>濃度を2000ppmまで希釈(275倍希釈)して使用するとNO<sub>x</sub>が0.32ppmとなり環境基準(1時間値の1日平均値0.04-0.06ppm)は超えるものの、人体への影響はない。</p>					
○その他					
<p>実証期間中に排ガス用フレキシブルダクトが排ガス中のSO<sub>x</sub>分により腐食し、対処を行った。ガスダクトの耐蝕対応が要求される。</p>					
Copyright ©2021 SymEnergy Inc. All rights reserved.					

14



OmCon Omnia Concerto 串間市木質バイオマス発電排ガス有効利用実証実験開始 SymEnergy

進化している水耕栽培システム

燃焼可能フィルム

晴天時：透過率アップ  
曇天雨天時：水分吸収

屋根部の太陽光パネル蓄電型木製ブラインドパネル

温度により上下する前面部木製ブラインドパネル

17 OmCon Omnia Concerto

OmCon Omnia Concerto 栽培試験条件 SymEnergy

栽培試験条件

- 水耕栽培にてCO<sub>2</sub>施用有無両方のハウスにて20体のリーフレタスを栽培。
- ハウス内温度を同程度に設定。灌水や夜間のLEDライト照射タイミングは同時に設定。CO<sub>2</sub>濃度については、日照に合わせて濃度コントロールをした。

試験期間

- 9/22-10/7の2週間

CO<sub>2</sub>施用無 (9/21)

CO<sub>2</sub>施用有 (9/21)

18



**栽培試験状況**



**CO2施用無 (10/9)**



**CO2施用有 (10/9)**



19



**栽培試験運転データ**



**2021年9月～2021年10月末**

グラフのデータ範囲  過去24時間  指定期間 21/09/01 から 21/10/31 まで

表示範囲 2週間 1ヵ月間 全体 表示期間 2021/09/02 から 2021/10/31



気温

グラフのデータ範囲  過去24時間  指定期間 2021/09/ から 2021/10/ まで

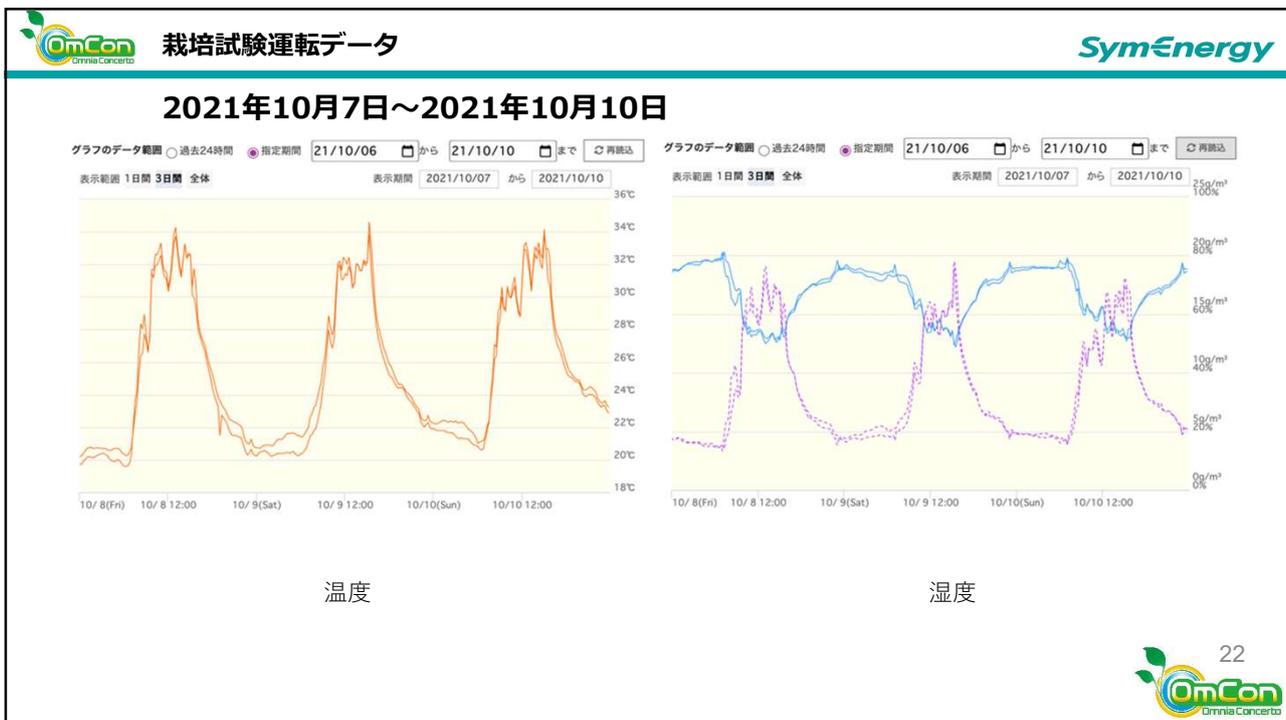
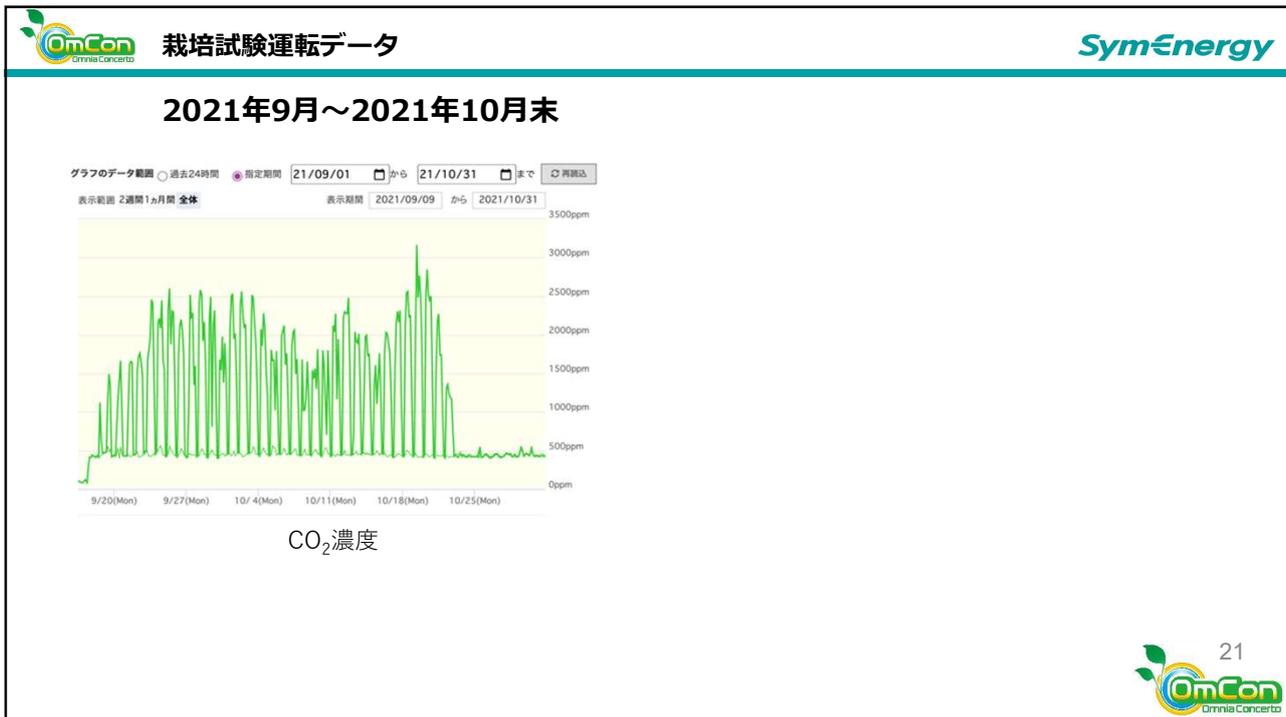
表示範囲 2週間 1ヵ月間 全体 表示期間 2021/09/09 から 2021/10/31

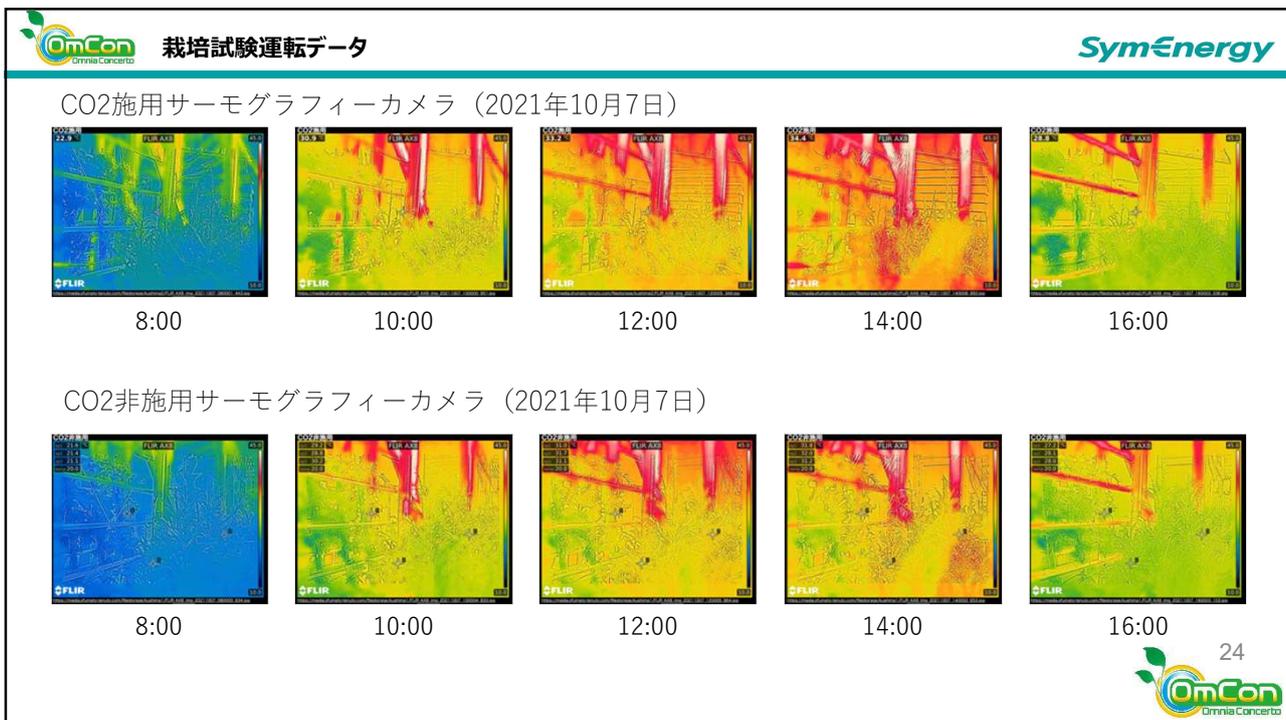
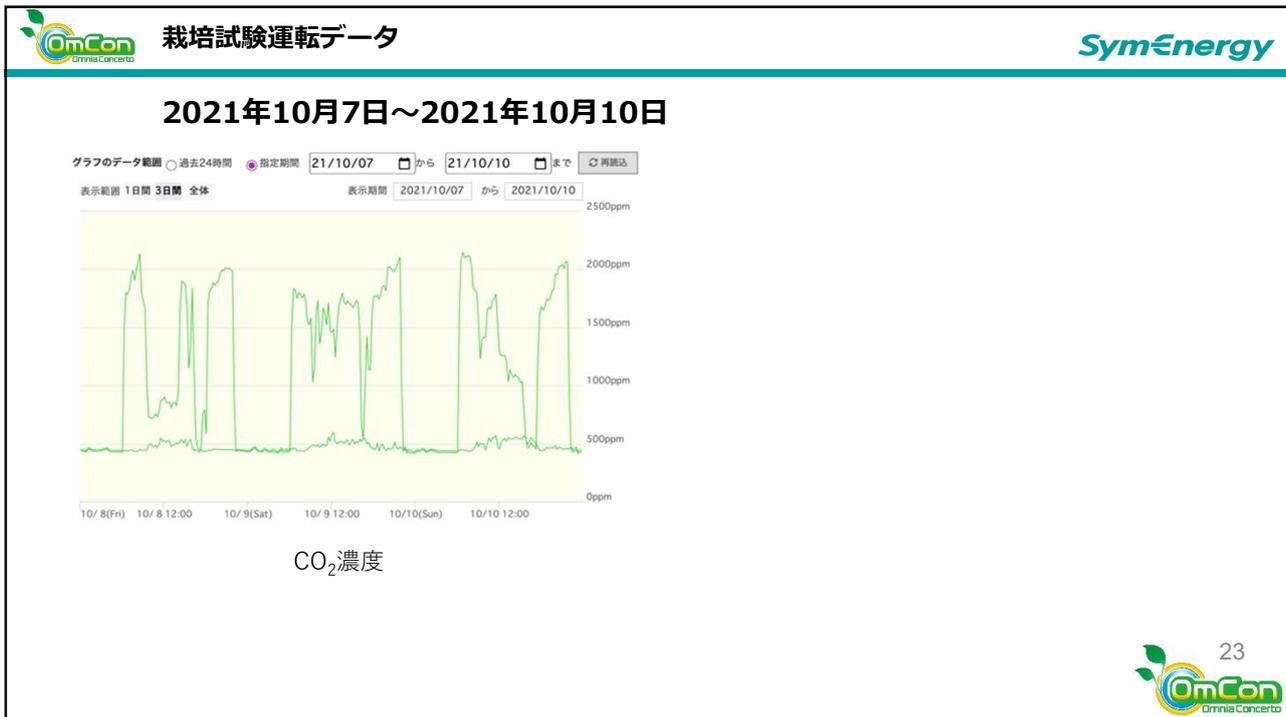


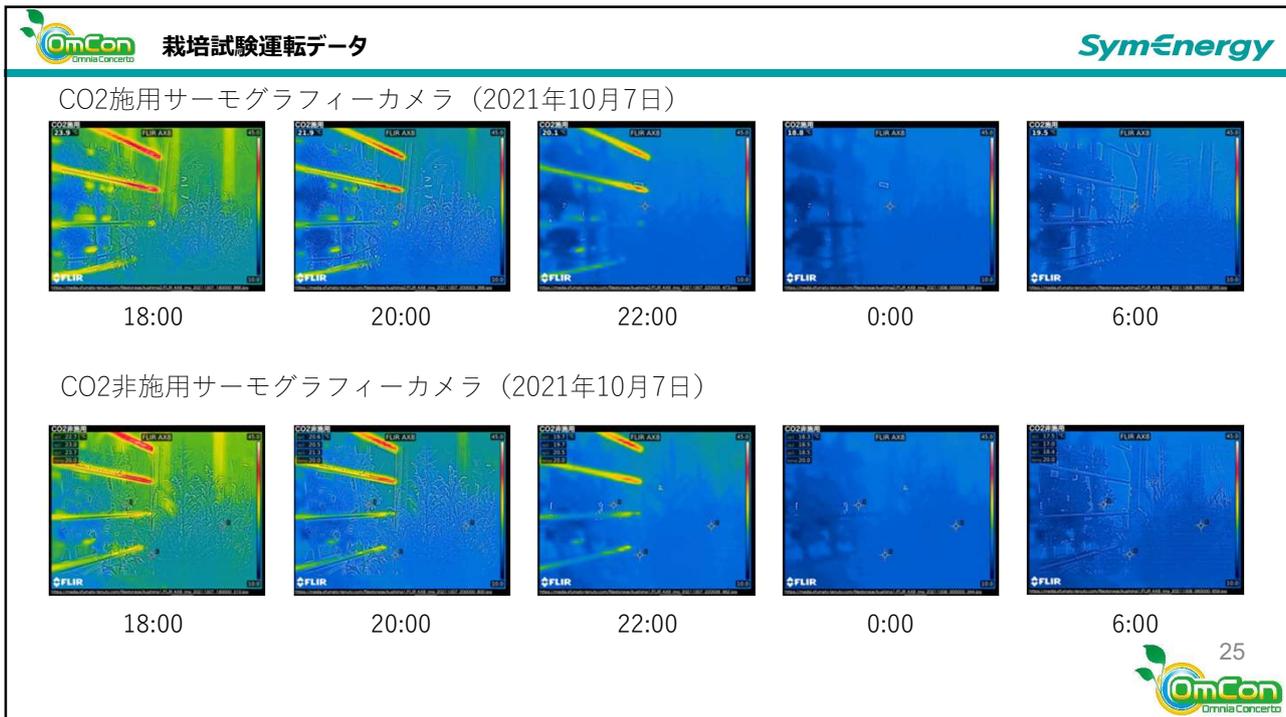
湿度

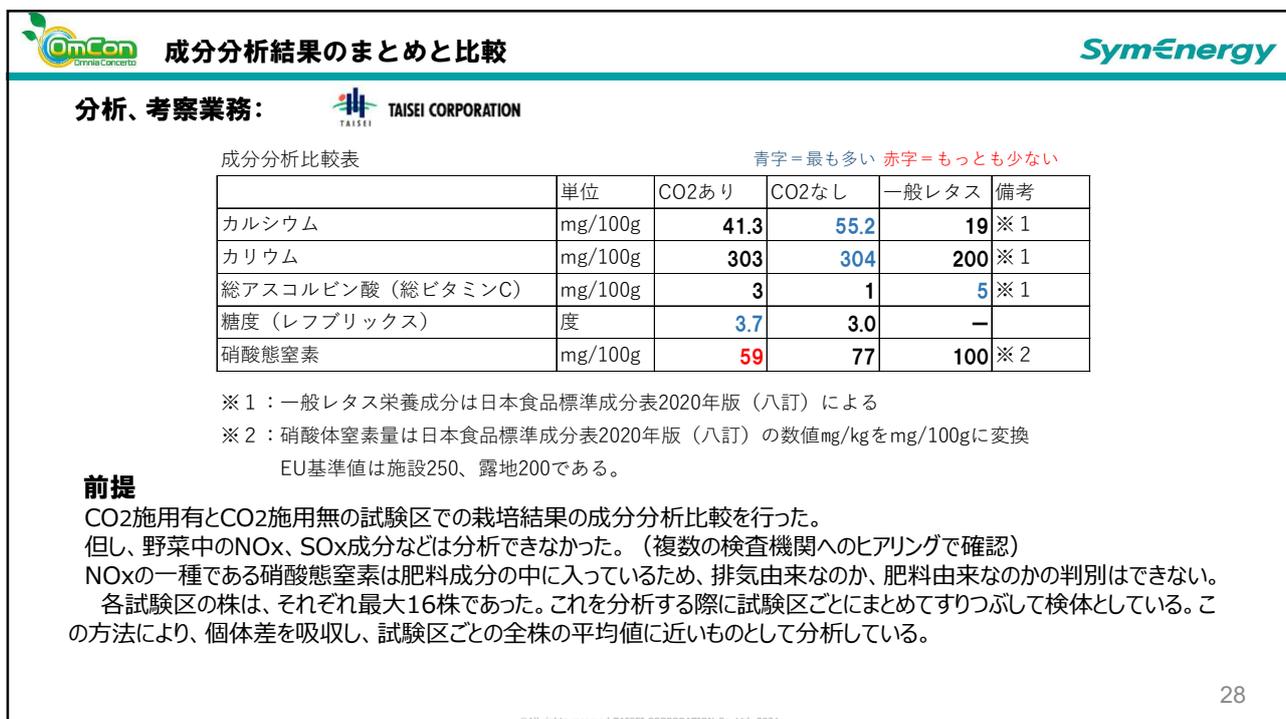
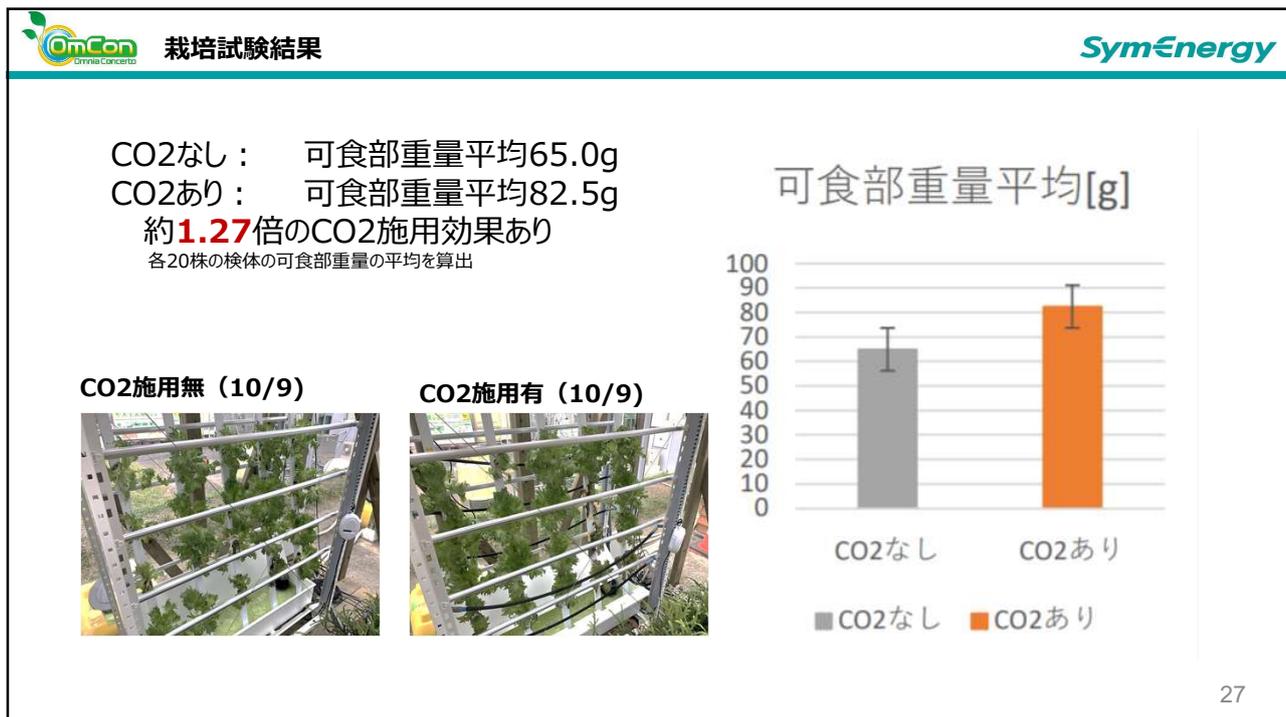


20









分析試験項目	結果	定量下限	注	方法
カリウム	*1 41.3 mg/100g	—		1 ICP発光分析法
カリウム	*1 303 mg/100g	—		原子吸光度法
総アスコルビン酸(総ビタミンC)	*1 3 mg/100g	—		1 高速液体クロマトグラフィー
糖度(レフコリックス)	*1 3.7 度	—		2 Abbe屈折計法
硝酸態窒素	*1 59 mg/100g	—		高速液体クロマトグラフィー

\*1 液体、株元及び損傷部を除いて試験した。  
注1. トリレンジで誘導体化した後測定した。  
注2. しぼり汁について試験した。

以 上

29

©All rights reserved TAISEI CORPORATION Co., Ltd. 2021

分析試験項目	結果	定量下限	注	方法
カリウム	*1 55.2 mg/100g	—		1 ICP発光分析法
カリウム	*1 304 mg/100g	—		原子吸光度法
総アスコルビン酸(総ビタミンC)	*1 1 mg/100g	—		1 高速液体クロマトグラフィー
糖度(レフコリックス)	*1 3.0 度	—		2 Abbe屈折計法
硝酸態窒素	*1 77 mg/100g	—		高速液体クロマトグラフィー

\*1 液体、株元及び損傷部を除いて試験した。  
注1. トリレンジで誘導体化した後測定した。  
注2. しぼり汁について試験した。

以 上

30

©All rights reserved TAISEI CORPORATION Co., Ltd. 2021

OmCon Omnia Concerto		考察		SymEnergy		
各成分の値の評価	成分分析比較表		青字=最も多い 赤字=もっとも少ない			
		単位	CO2あり	CO2なし	一般レタス	備考
	カルシウム	mg/100g	41.3	55.2	19	※1
	カリウム	mg/100g	303	304	200	※1
カルシウム						
CO2無がやや多い。CO2有41.3mg/100gに対して、CO2無55.2mg/100gであり $55.2 \div 41.3 = 1.34$ となり、34%の差となっている。但し、一般レタス19mg/100gに対して、両試験区とも十分に多くなっている。						
一般的にカルシウムが不足するとレタスの生育障害がおこりやすくなるといわれており、今回の試験区は両方とも十分に良好な生育状態であったと言ってよい。CO2無の試験区がより良好な生育状態であったと言える。						
カリウム						
両試験区ともほぼ同じ数字である。一般的レタスの値の1.5倍と良好である。						
一般的にカリウムが不足するとレタスの生育障害がおこりやすくなるといわれており、今回の試験区は両方とも十分に良好な生育状態であったと言ってよい。						
人間に対しては、カリウムは体内の不純物を排出する役割があるものの、腎臓病を患っている人にとってはカリウムが体内に貯まると透析が必要となるなど、健康状態によっては注意が必要な栄養素である。31						

OmCon Omnia Concerto		考察		SymEnergy		
各成分の値の評価	成分分析比較表		青字=最も多い 赤字=もっとも少ない			
		単位	CO2あり	CO2なし	一般レタス	備考
	総アスコルビン酸（総ビタミンC）	mg/100g	3	1	5	※1
	糖度（レフブリックス）	度	3.7	3.0	-	
総アスコルビン酸（総ビタミンC）						
CO2有がやや多いものの、両試験区とも一般レタスの5mg/100gを下回っており、CO2有3mg/100g、CO2無1mg/100gとなっている。この項目は有効数字1桁で表示されており、誤差が大きくなりやすいと考えられるため、同じ桁であれば、大差なしと判定しても良い項目になる。						
大成建設の保有技術である「黒酢農法」ではビタミンCを増加させることが可能であるが、これは一種のストレス栽培によるものである。今回はビタミンCの値が平凡または基準値以下であったため、両試験区ともストレスの少ない栽培環境であったことが推察される。						
糖度（レフブリックス）						
糖度に関してはCO2有がやや多く3.7度、CO2なしが3.0度である。この項目は一般レタスの参考値がない。ビタミンC同様に何等かのストレスがかかった場合、特に寒さのストレスがかかった場合に糖度が増すことがわかっている。CO2有の方が、栽培環境が寒かった、または、寒暖の差が大きかったことが推察される。						


**考察**


### 各成分の値の評価

成分分析比較表 青字 = 最も多い 赤字 = もっとも少ない

	単位	CO2あり	CO2なし	一般レタス	備考
硝酸態窒素	mg/100g	59	77	100	※2

**硝酸態窒素**  
 この項目は他の栄養成分等と違い、少ないほど良いとされる。  
 EUでは上限250(施設)~200(露地)mg/100gという規制がある。  
 日本の露地レタスの標準値は100mg/100gとなっている。  
 EUの数値でわかるように、一般的には露地栽培よりも水耕栽培などの施設栽培の方が数値が高くなる傾向がある。  
 今回の試験では、CO<sub>2</sub>有59mg/100g、CO<sub>2</sub>無77mg/100gと日本の露地レタスの標準よりも低い値になっている。生育状態が良いと、肥料成分として硝酸態窒素を良く消費し、成分分析の際の数値が下がるとされる。両試験区とも良好な栽培環境であったと言える。59÷77=0.77、CO<sub>2</sub>有がCO<sub>2</sub>無よりも37%多く消費している、つまりCO<sub>2</sub>有の方が生育がより旺盛であったと言える。重量測定結果とも一致する。

33

©All rights reserved Taisei Corporation Co., Ltd. 2021


**特記事項**


### トリミング作業後に分析

分析機関到着時に葉の傷みが多く発生していたため、トリミング作業実施後に分析を行ったため、当初予定されていた「一般生菌数」と「大腸菌群数」については検体量不足のため測定できなかった。

### その他

露地レタスや他の環境での生育のものと、比較するのは難しいが、基準値のあるものに関しては、基準以下であれば、その項目に関しては食べても問題ないと思われる。今回の分析では硝酸態窒素の項目である。但し、分析項目以外の項目については検討できていない。  
 今回の分析でわかるのは分析した項目における、CO<sub>2</sub>施用有とCO<sub>2</sub>無の比較および、日本食品標準成分表との比較となる。また、1回の分析であることから、再現性についても評価できない。

34

©All rights reserved Taisei Corporation Co., Ltd. 2021



## 排ガス浄化・濃縮プラントのCO<sub>2</sub>製造コスト

SymEnergy

C-SAVE実証試験データ 9/3 14:45 を使い算出した。

### ・計算データ

回収ガス流量：2.64 m<sup>3</sup>/h

ガス温度：94 °C

CO<sub>2</sub>濃度：50.6 vol%

消費電力（回収システム全体）：16 kWh

電気料金（九州電力）：13円/kWh

### ・計算結果

回収CO<sub>2</sub>流量：1.33 m<sup>3</sup>/h

：1.96 kg/h (密度：1.47 kg/m<sup>3</sup>)

回収コスト：(1,000/1.96)×16×13= 106,122円/t-CO<sub>2</sub>相当

濃縮装置の電力内訳

	容量
必要な動力	8kW
昇温の電力	3.5kW
冷却の電力	3.5kW
計装等	1kW

一般的なCO<sub>2</sub>ガス価格20,000円/ t-CO<sub>2</sub>に対し、約5倍の製造コストである。

本実証実験では、濃縮装置の中で排ガスと装置の昇温と冷却に電力を利用しているが、

プラントの設置に際しては、発電所からの排熱等を有効に活用することでその一部を削減できると考えられる。

また、設備を大きくしていくことで、回収ガス流量に対して濃縮装置の必要な動力は低減していくことができる。

熱の有効利用と合わせて、大規模の設備容量での導入が必要ではあるが、

大生黒潮発電所の規模で最大で約10,000m<sup>3</sup>/hの排ガスがあるため、大規模の設備容量での導入も考えられる。

Copyright ©2021 SymEnergy Inc. All rights reserved.

35



## 排ガス浄化・濃縮プラントのCO<sub>2</sub>製造コスト

SymEnergy

### C-SAVE実証試験データ

C-SAVE実証試験データ

CO<sub>2</sub>濃縮機データ

日付	時刻	吸着流量計 形圧 Pa	吸着流量 (排ガス流量) m <sup>3</sup> /h(at. 20°C)	排ガス濃度 vol%	原ガス温度 °C	回収用ファン Hz	回収流量 読み値 L/min	CO <sub>2</sub> 回収流量 m <sup>3</sup> /h	回収濃度 vol%	回収CO <sub>2</sub> 温度 °C
2021/9/1	10:33	18	30.5	9.3	37	0	0	0.00	74.6	-
	11:15	18	30.5	9.3	39	10.75	10	0.60	66.4	84
	11:58	18	30.5	9.3	39	11.76	18	1.08	63.2	88
	12:40	16	28.7	9.3	40	13.4	26	1.56	57.8	90
	13:13	16	28.7	8.9	41	16.28	42	2.52	50.8	92
2021/9/2	10:19	17	29.7	9.1	35	0	0	0.00	70.4	-
	11:32	17	29.7	9.3	38	10.75	14	0.84	65.4	85
	13:03	16	28.8	9.5	36	12.01	18	1.08	62.4	87
	13:36	16	28.8	9.3	38	13.52	28	1.68	56.8	90
	14:41	15.5	28.4	9.1	33	14.77	36	2.16	52.2	91
	14:07	16	28.8	9	39	16.28	41	2.46	38.5	94
2021/9/3	10:40	18	30.5	9.3	36	0	0	0.00	71.3	-
	11:30	18	30.5	9.3	35	10.75	10	0.60	65.0	82
	13:05	15	27.9	9.5	36	11.76	16	0.96	65.8	85
	13:45	16	28.8	9.3	36	13.52	28	1.68	57.3	89
	14:15	15.5	28.4	9.3	37	14.77	36	2.16	52.0	90
	14:45	16	28.8	9.1	38	16.28	44	2.64	50.6	92
2021/9/4	10:29	18	30.5	7.9	36	12.26	21	1.26	54.5	85
	12:00	15	27.9	9.3	35	12.26	8	0.48	65.2	84
	12:45	15	27.9	9.1	37	12.26	18	1.08	63.2	87

CO<sub>2</sub>sampling

Copyright ©2021 SymEnergy Inc. All rights reserved.

36

項目	内容
①事業の目的	<p>「地域内エコシステム」構築が可能な小規模なバイオマス発電所にて、地元間伐材等で電気を生み出しながら、CHPから発生する熱や発電中に排出される排ガス中のCO<sub>2</sub>を施設園芸等に供給することで、地域型バイオマス発電所として、林業はもちろん、エネルギーコスト削減・CO<sub>2</sub>施肥による収量増加による農業への還元も可能なシステムが求められる。</p> <p>本事業では、「農業ハウスや林業育種ハウスへのCO<sub>2</sub>ガス供給のための小型バイオマス発電所に適した排ガス浄化・濃縮プラントシステムの開発」を目的とする。</p>
②事業の内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 検討委員会の設置・運営 第1回及び第2回検討委員会の設置・運営を実施した。</li> <li>2. CO<sub>2</sub>濃縮プラント・農業ハウスの設置 木質バイオマス発電設備の排ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を分離・浄化・濃縮するプラント及びCO<sub>2</sub>施用実証用木造ハウスを設計、製作し、宮崎県串間市にある大生黒潮発電所に設置した。</li> <li>3. 排ガス濃縮プラントの実証運転・ハウス栽培試験 <ul style="list-style-type: none"> <li>・排ガス濃縮プラントを排ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を分離濃縮する実証運転を行った。</li> <li>・2棟の木造ハウス内に縦型水耕栽培装置を設置し、リーフレタスを各20株栽培を行った。片側の木造ハウスには排ガスから分離濃縮したCO<sub>2</sub>を用いてCO<sub>2</sub>施用を行い、栽培した。</li> <li>・栽培したリーフレタス各20株について、可食部平均重量の差を比較した。また、成分分析を実施し、比較考察を行った。</li> <li>・排ガス濃縮プラントの実証運転におけるCO<sub>2</sub>製造コストの算出及び考察を行った。</li> </ul> </li> </ol>

37

観点	自己評価
③事業の実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排ガスからCO<sub>2</sub>を分離濃縮して濃度50～60%としてハウスへ供給を継続した。但し、実証事業後半の運転実績ではCO<sub>2</sub>濃縮度の低下傾向がみられた。</li> <li>・CO<sub>2</sub>施用により2割から3割程度の植物成長効果があることを確認した。（施用無と比較して）</li> <li>・ガス中の不純物の影響度分析：硝酸態窒素においては排ガスから濃縮したCO<sub>2</sub>施肥においても食用可能であることを確認した。</li> <li>・隣接するハウスへの供給する場合においては、上記の効果により、木質バイオマス発電所からの排ガス供給でCO<sub>2</sub>施肥の効果が期待できることが確認できた。</li> <li>隣接するハウス供給においては、2000ppm程度であればよく、濃縮濃度を高濃度まで上げる必要が無い事も分かったため、CO<sub>2</sub>回収コストは更に低減できる可能性がある。</li> <li>・さらなる展開としてポンベ供給販売へアプローチする場合は、今回の実証試験の回収コストは106,122円/t-CO<sub>2</sub>相当で、一般的なCO<sub>2</sub>ガス価格20,000円/ t-CO<sub>2</sub>に対し、約5倍の製造コストであった。熱の有効利用と合わせて、大規模の設備容量での導入が必要ではあるが、木質バイオマス発電所においても十分な排ガス量はあるため、大規模の設備容量での導入も考えられる。</li> </ul>

38



観点	自己評価
④今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排ガス中のSOx分により、実証期間中にダクトや減圧弁等の設備機器の故障があった。排ガス浄化濃縮プラントの一部については適切な防蝕処置等が行う必要がある。</li> <li>・今回は、回収装置がレンタルで、実験期間が短い為、林木育苗促成栽培の検証が十分でなかった。6か月～の十分な育成検証期間が必要である。また、灌水に使用した発電所内の水（処理井水）のpHがおよそ9とアルカリ性であるため、灌水前のpH調整が必要である。</li> <li>・サーモグラフィカメラ監視による木製ハウス内における放熱が見られ、木製ハウスの利点が明らかとなった。しかしながら、日射量、ハウス内温度、換気の制御が不十分であり、更なる室内温度調整機能設備の構築が課題である。</li> <li>・ポンベ供給販売へアプローチする場合には、長期運転の安定性、熱の有効利用及び設備容量の増大による運転コストの改善、または他手法による排ガス浄化濃縮のコスト低減が求められる。</li> </ul>