

令和6年度
脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業
(バイオガスのハイブリッド精製と真庭市地域の
生ごみ収集車両への利用実証)
委託業務成果報告書

令和7年3月

真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合

要 約

本実証では、バイオガス利用方法の選択肢を広げることでメタン発酵処理施設の普及促進につなげることを目的とし、岡山県真庭市のメタン発酵実証施設において 4 年間に渡りバイオガスの精製・貯蔵・利用についての一体的な技術的実証を行った。

まず、車両燃料としての利用という目的達成のためバイオガスの精製を行い、エネルギー貯留の課題解決のため、吸着貯蔵タンクの利用実証を行った。さらに精製したガスはごみ収集車両の燃料として利用する走行実証を行った。

精製実証では、採用したハイブリッド精製技術によりメタン濃度 95vol%以上への安定的な精製と 99%以上のメタン回収が可能である結果が得られた。吸着貯蔵実証では、常圧のバイオガスと比較してエネルギー密度で約 40 倍の貯蔵が可能であるという結果が得られた。車両走行実証は 100 回以上実施し、燃料として問題なく利用できることを確認した。精製後のガスはエンジン性能試験による評価を実施し、排ガス規制に抵触しないことも確認した。実証を踏まえ CO₂ 排出量の試算を行い、提案システムが従来システムより排出が少ない結果が得られた。

(1) 実証の背景と目的

真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合は、2014 年度にメタン発酵実証プラント（既存プラント）を環境省・農林水産省の委託事業により設置した。当組合では既存プラント設置以来、真庭市内のモデル地区約 4,000 世帯分の生ごみ分別収集、生ごみ等有機性廃棄物のメタン発酵によるエネルギー化、発酵後の消化液の肥料利用に取り組んできた。

一定規模以上の焼却施設は、ごみ発電を導入することでエネルギー回収が可能だが、中小規模の自治体では、焼却施設が大規模化できず、ごみ発電を導入が困難なケースも多い。このようなケースでは、生ごみやし尿をメタン発酵処理施設でエネルギー化することで、環境負荷とコスト両面でのメリットがあると考えられる。

また、メタン発酵施設からのバイオガスは、国内では、ほとんどが発電に利用されており、それ以外の用途が少ないのが現状である。バイオガスは、都市ガスの主成分であるメタンを 60%程度含んでおり、精製によりメタン濃度を向上させることで、都市ガスと同等のガスとして車両燃料にも利用可能。本実証の目的は、中小規模の自治体向けに、メタン発酵処理による一般廃棄物処理とバイオガスの精製利用による CO₂ 排出削減効果を検証し、示すことである。

(2) 実証技術の概要

バイオガス精製技術

バイオガスの精製にはハイブリッド精製技術を利用した。ハイブリッド精製は、圧力スイング吸着法（PSA）と CO₂ 分離膜を併用する方法である。日本でこれまで導入実績のある

PSA や高圧水吸収法と比較してメタンガス回収率を向上可能な利点がある。また、高圧水吸収法と比較して、小規模な一般廃棄物（生ごみ・し尿等）や畜産系のメタン発酵システムに適用可能な点にも特徴がある。

ガス貯蔵技術

貯蔵技術としては吸着剤を充填したタンクでの低圧貯蔵を実証した。バイオガスの主成分であるメタンは圧力をかけただけでは圧縮はされるが液化はしない。メタンガスは、常圧では -162°C に冷却することで液化し体積が気体の約 1/600 となるが、中小規模の施設でメタンガスの貯蔵のために -162°C の温度を保つのは難しく、冷却にエネルギーが必要な分、エネルギー収支も悪化する。また、メタンガスは圧縮性も高くないため、圧縮により大量に貯蔵するためには高い圧力が必要である。吸着式の貯蔵では活性炭を吸着材として利用することで、比較的低压でも常圧時と比較して 20 倍程度のガス貯蔵が可能である。さらに、前段でバイオガスを精製してから貯蔵することで、エネルギー密度としてはバイオガスの 30 倍程度の貯蔵が可能になる。

車両利用

本事業では、CNG 車への燃料利用を前提としてガスの精製を行った。車両に利用するガスは通常は都市ガスを燃料としており、都市ガスの性状に合わせるため、また付臭と熱量調整のために LP ガスを添加し、CNG 車の燃料とした。車両は市販されている CNG トラックを使用し、真庭市の協力を得て既存プラントへの生ごみ収集運搬車として利用した。

(3) 昨年度までの実施事項

昨年度までの 3 か年の実施事項と成果は以下にまとめる。なお、最終年度である 2024 年度まで各年度 2 回の検討会を開催した。

2021 年度の実施事項は以下の通りである。

- ・ 設備設計及び 1 期工事を実施し、関係法令の確認を行った。
- ・ 実証で製造・利用する製品ガスの性状についての試算を実施した。LP ガス添加後の製品ガスが都市ガス 12A または 13A ガスの範疇に入ることを確認し、試算上では車両走行には問題がない品質であることを確認した。

2022 年度の実施事項は以下の通りである。

- ・ 実証施設の設置工事を完了し、試運転調整を行った。
- ・ 11 月より精製・貯蔵実証を開始し、メタン濃度 95vol%以上の精製バイオメタンを安定的に製造可能なことを確認した。
- ・ 精製バイオメタンと LP ガスの混合比率（体積比）を 100 : 9 とし、都市ガス 13A 相当の製品ガスを製造した。12 月より充填及び車両走行実証を開始し、走行実証を 37 回実施した。

- ・ 普及機の規模及び評価境界の検討を実施し、概算コストの確認を行った。
- 2023 年度の実施事項は以下の通りである。
- ・ 都市ガス 13A 相当の製品ガスを製造し、走行実証を 6～8 月に実施した。エンジン性能試験（JE05 モード試験、全負荷試験）を実施し、都市ガス 13A と同等の結果が得られた。
 - ・ 精製バイオメタン：LP ガスの混合比率を 100：2 とした都市ガス 12A 相当の製品ガスを製造し、11～12 月に走行実証を 50 回実施した。
 - ・ 普及規模として人口約 10 万人の自治体を想定し、廃棄物処理にかかる概算コストや CO₂ 排出量について複数のケースで試算を行った。バイオガス精製設備を有し、都市ガス 12A 相当の製品ガスを利用するケースで CO₂ 排出量が最も低い結果が示された。

(4) 今年度の実施事項

2024 年度は、精製・貯蔵の実証を継続し、精製バイオメタン：LP ガスの混合比率を 100：2 とした製品ガス（12A 相当）での車両走行実証を 6～7 月に実施した。さらに、LP ガスを添加しない精製バイオメタンについてもエンジン性能試験を行った。

CO₂ の排出量及び経済性評価では、LP ガスを添加しない精製バイオメタンを利用した場合の評価を行った。また、より小規模の自治体（人口約 5 万人）においても普及可能性の評価を行った。

最終的なまとめとして、ヨーロッパにおける政策、普及戦略や事例について調査し、実証結果を踏まえ、将来的な日本での普及戦略について取りまとめを行った。

(5) 目標達成度

本実証の最終目標と達成度は以下の通りである。

車両に関する技術実証

製品ガスによる車両走行実証に関しては、目標値 80 回以上に対し 101 回の実証を実施し、走行実証とエンジン性能試験の結果から燃費等についての取りまとめを行った。

ハイブリッド精製・吸着貯蔵・車両利用に関する技術検証

バイオガスの精製実証については、安定的にメタン濃度 95vol%以上に精製可能なことを検証し、目標を達成した。精製バイオメタンの貯蔵実証においてはエネルギー密度で 30 倍程度を想定していたが、貯蔵量テストの結果、40 倍以上の貯蔵が可能であることを確認した。車両での利用実証も大きなトラブルはなく、エンジン性能試験により精製バイオメタンのみを燃料としても走行可能であること、排出ガスも規制値以内であることを確認した。

CO₂ 排出削減量の評価

CO₂ 排出削減効果の評価においては、人口 5 万人程度の自治体においても、従来システムと比較して提案システムで排出削減効果が高い結果が示された。CO₂ 削減単価については目標値を 3,000 円/t-CO₂ としていたが、提案システムの方が従来システムと比較して低コストであるため、評価ケースにおいては CO₂ の排出削減に追加コストは不要であるという結果を示すことができた。

普及戦略の検討

普及戦略については、精製バイオメタンの利用が進むヨーロッパの動向等も調査し、日本の現状や課題を踏まえ取りまとめを行った。今後の普及に向けては、導入支援策、インフラ整備支援、関連法規の整理等が必要である。特に導入支援策としては電力事業における FIT 制度を、ガス事業にも展開する等、事業性を確保するための施策が望まれる。また、プラントの設備・構成、運用面からも、現状課題の解決に向けた提案を取りまとめた。

(6) 事業終了後の横展開の可能性

メタン発酵プラントは、生ごみとし尿を混合処理でき、かつ焼却施設と比較して小規模でもエネルギーを生み出せることから、今後の一般廃棄物処理の手法として有効であると考えられる。特に過疎化が進む地方においては、生ごみ等の有機廃棄物を可能な限り資源化し、焼却施設とし尿処理施設を縮小・廃止していくことが経済的にも環境負荷の削減にも有効である。

メタン発酵プラントはすでに技術的には確立されているが、全国的な普及には至っていない。バイオガスの用途拡大や、車両への燃料利用、敷地制約がある中でのエネルギー密度を高めたガス貯蔵等、本事業の成果はメタン発酵とエネルギー利用の可能性を広げ、一般廃棄物処理だけでなく、食品工場からの残渣や畜産系廃棄物等の産業廃棄物処理等にも水平展開可能なモデルである。また、精製バイオメタンが都市ガスの代替となりうることから、既存インフラ（都市ガス網や天然ガスステーション）を活用しながら燃料の脱炭素化を進められるメリットも大きい。FIT に代わる安定的なエネルギー活用法としても、有機性廃棄物のメタン発酵処理とバイオガス精製・利用モデルの確立は有力な候補の一つである。

海外では精製バイオメタンの利用が進んでおり、特にヨーロッパでは精製バイオメタンのガス網（グリッド）への供給と、車両燃料としての利用が進んでいる。環境価値と燃料の価値を区別して取引が可能な制度も確立されており、国により経済的な支援策もあることから、近年精製バイオメタンの施設数・設備容量ともに増加している。バイオガスのように燃料として利用可能な再生可能エネルギーは貴重であり、今後は海外の施策も参考に日本でも都市ガス代替や車両燃料としての利用を推進していくことが、ガス燃料の脱炭素化に必要であると考えられる。

Abstract

In this demonstration project, we aimed to promote the adoption of methane fermentation treatment facilities by expanding the options for biogas utilization. Over a period of four years, we conducted an integrated technical demonstration of biogas upgrading, storage, and utilization at a methane fermentation demonstration facility in Maniwa City, Okayama Prefecture.

First, to achieve the goal of using biogas as a vehicle fuel, we carried out biogas upgrading. To address energy storage challenges, we conducted a demonstration of adsorption storage tanks. Furthermore, the upgraded gas was used as fuel for a garbage collection truck in a driving demonstration.

In the upgrading demonstration, the adopted hybrid upgrading technology enabled stable upgrading to a methane concentration of 95 vol% or higher and achieved a methane recovery rate of over 99%. In the adsorption storage demonstration, the results showed that storage with an energy density approximately 40 times higher was possible compared to atmospheric pressure biogas. The vehicle driving demonstration was conducted over 100 times, confirming that the upgraded biogas could be used as fuel without issues. The upgraded gas was also evaluated through engine performance tests, confirming that it complied with emission regulations.

Based on the demonstration results, we conducted an estimation of CO₂ emissions, which showed that the proposed system resulted in lower emissions compared to conventional systems.

(1) Background and objectives of this demonstration project

In fiscal 2014, the Maniwa Cross-Regional Waste Recycling Business Cooperative established a methane fermentation demonstration plant (the existing plant) as a commissioned project of the Ministry of the Environment and the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Since the existing plant was established, efforts have been made by the Cooperative to achieve the sorted collection of kitchen waste from approximately 4,000 households in the Maniwa model area, generate energy via methane fermentation of kitchen waste and other organic waste, and use digestate from the fermentation process as fertilizer.

Although incineration facilities above a certain size can recover energy through the introduction of waste power generation, small and medium-sized municipalities are unable to do so in many cases as they cannot scale up their incineration facilities. In such cases, converting kitchen waste and human waste to energy with methane fermentation treatment facilities can offer advantages both in terms of environmental impact and cost.

Furthermore, in Japan, biogas from methane fermentation facilities is mostly used for power generation and has few other applications. Biogas contains approximately 60% methane, the main component of city gas, and by upgrading biogas, its methane concentration can be raised to a level equivalent to that of city gas, allowing it to be used as vehicle fuel. The purpose of this demonstration

project is to verify and demonstrate the treatment of general waste using methane fermentation treatment as well as the CO₂ emissions reduction effect of the upgrading and utilization of biogas for small and medium-sized municipalities.

(2) Overview of demonstration technologies

Biogas upgrading technology

Hybrid upgrading technology was used to upgrade biogas. Hybrid upgrading is an approach that uses both pressure swing adsorption (PSA) and CO₂ separation membranes. Compared to PSA and water scrubbing that have been introduced in Japan, hybrid upgrading offers the advantage of an improved methane gas recovery rate. Moreover, hybrid upgrading is also unique in that it can be applied to small-scale general waste (kitchen waste, human waste, etc.) and livestock methane fermentation systems, as compared to water scrubbing.

Gas storage technology

Low-pressure storage in a tank filled with adsorbents was demonstrated as a storage technology. When pressure is applied to methane, the main component of biogas, the methane is compressed, but this is not enough to achieve liquefaction. When methane gas at normal pressure is cooled to -162°C, methane is liquefied and contracts to a volume approximately 1/600 of that of the gas itself. However, in the case of small and medium-sized facilities, it is difficult to maintain the temperature at -162°C for methane gas storage, with the energy imbalance exacerbated by the fact that cooling requires energy. In addition, methane gas is not highly compressible, so high pressure is required to compress and store a large amount of gas. In contrast, with adsorption-type storage, activated carbon can be used as an adsorbent to store approximately 20 times the gas that can be stored at atmospheric pressure even at a relatively low pressure. Moreover, by first upgrading biogas before storing it, it is possible to store about 30 times the energy density of the biogas.

Use in vehicles

For this project, gas was upgraded on the assumption that it will be used as fuel for CNG vehicles. City gas is ordinarily used as fuel for vehicles, and in order to match the properties of city gas, LP gas was added to upgraded biogas and odorization as well as calorific value adjustment were carried out to produce fuel for CNG vehicles. With the cooperation of Maniwa, a commercially available CNG truck was used as a garbage truck to collect kitchen waste and transport it to the existing plant.

(3) Actions taken up to last fiscal year

The following actions were taken and results were achieved in the last three fiscal years up to last fiscal year. In addition, the investigative commission convened two times each fiscal year until fiscal 2024, the final fiscal year.

The following actions were taken in fiscal 2021.

- Facility design and first-phase construction were carried out, and we confirmed the relevant laws and regulations.
- We performed trial calculations for the properties of product gas to be produced and used for this demonstration project. We confirmed that following the addition of LP gas, the product gas falls into the category of city gas 12A or 13A, and that based on our trial calculations, the gas is of a quality that causes no problems for running vehicles.

The following actions were taken in fiscal 2022.

- We completed the demonstration facility's installation work as well as equipment commissioning and adjustments.
- In November, we started our upgrading and storage demonstration and confirmed that the facility was capable of stably producing upgraded biomethane with at least 95 vol% methane.
- The mixing ratio (volume ratio) of upgraded biomethane to LP gas was set to 100:9 for the production of product gas equivalent to city gas 13A. In December, we started our filling and vehicle running demonstration and conducted 37 rounds of vehicle running demonstration.
- We considered the capabilities and specifications of upgrading, storage, and filling equipment that could be used to achieve adoption on a larger scale and confirmed the estimated costs.

The following actions were taken in fiscal 2023.

- We produced product gas equivalent to city gas 13A and conducted vehicle running demonstration from June to August. We conducted engine performance tests (JE05 mode cycle test and full-load test), and the results were equivalent to those for city gas 13A.
- We produced product gas equivalent to city gas 12A by setting the mixing ratio of upgraded biomethane to LP gas to 100:2, and we conducted 50 rounds of vehicle running demonstration from November to December.
- We performed trial calculations for multiple cases of the estimated costs and CO₂ emissions associated with waste treatment based on the assumption of wider adoption in a municipality with a population of approximately 100,000 people. The lowest CO₂ emissions were observed in the case where biogas upgrading equipment is installed and product gas equivalent to city gas 12A is used.

(4) Actions taken this fiscal year

In fiscal 2024, we continued with upgrading and storage demonstration and conducted vehicle running demonstration from June to July using product gas with a mixing ratio of 100:2 (upgraded biomethane to LP gas) equivalent to 12A. In addition, we conducted engine performance tests for upgraded biomethane with no LP gas added.

CO₂ emissions and economic feasibility were evaluated for the use of upgraded biomethane with no LP gas added. We also evaluated the possibility of adoption by smaller municipalities (with populations of approximately 50,000 people).

As a final summary for the project, we investigated policies, adoption strategies, and case studies in Europe, and based on the demonstration results, we formulated a strategy to encourage the adoption of our approach throughout Japan in the future.

(5) Achievement of targets

The final targets of this demonstration project and the extent of their achievement are as follows.

Technical demonstration of vehicles

We conducted 101 rounds of vehicle running demonstration using product gas (compared to our target value of 80 rounds or more), and we summarized results for fuel efficiency, etc., from the results of the running demonstration and engine performance tests.

Technical verification of hybrid upgrading, adsorption storage, and use in vehicle

In our biogas upgrading demonstration, we verified that it is possible to upgrade biogas to a concentration of at least 95 vol% methane in a stable manner, thereby achieving our target. In our upgraded biomethane storage demonstration, we confirmed through the results of storage volume tests that it is possible to store over 40 times the energy density of the biomethane, despite our prior assumption of around 30 times. Our vehicle use demonstration also found no major problems, and our engine performance tests confirmed that vehicles can run by using upgraded biomethane as the only fuel and that the gas emissions are within regulatory limits.

Evaluation of CO₂ emissions reduction

In our evaluation of the CO₂ emissions reduction effect, our proposed system showed a higher reduction in emissions than existing systems, even in municipalities with populations of approximately 50,000 people. We had set a target unit cost of CO₂ reduction of ¥3,000/t-CO₂, but since our proposed system is less expensive than existing systems, our evaluation case studies showed that no additional cost would be incurred for CO₂ emissions reduction (expected cost advantage).

Consideration of adoption strategies

Regarding adoption strategies, we investigated current trends in Europe, where the use of upgraded biomethane is gaining traction, and summarized them in view of the current situation and challenges in Japan. To encourage the adoption of our proposed system going forward, it is necessary to provide support for its introduction and for the development of infrastructure, as well as to straighten out the relevant laws and regulations. In particular, measures to support its introduction should also ensure commercial viability, such as a gas version of the FIT system. We also outlined recommendations for tackling current challenges in terms of plant equipment and configurations, as well as operational issues.

(6) Possibility of horizontal deployment after the end of project

Methane fermentation plants can process both kitchen waste and human waste and generate energy on a smaller scale than incineration facilities, so they are believed to be an effective method of general waste treatment in the future. Especially in rural areas that are becoming increasingly depopulated, recycling as much organic waste such as kitchen waste as possible while downsizing or shutting down incineration facilities and human waste treatment facilities would be an effective way of achieving more economical waste treatment and reducing environmental impact.

Methane fermentation plants are already well-established in terms of the required technology, but they have yet to become widespread nationwide. The results of this project will expand the range of possibilities for methane fermentation and energy use, including the expansion of biogas applications, use in vehicles, and the storage of gas with a higher energy density even in cases where site constraints exist. These results will therefore serve as a model that can be horizontally deployed to not only general waste treatment but also industrial waste treatment for residue from food factories, livestock waste, etc. In addition, given that upgraded biomethane can be used as an alternative to city gas, the results of this project offer major advantages by facilitating the pursuit of further fuel decarbonization while utilizing existing infrastructure (city gas grids and natural gas stations). The establishment of a model for the methane fermentation treatment of organic waste as well as the upgrading and utilization of biogas is also a promising candidate for a stable energy utilization method that can replace FIT.

The use of upgraded biomethane is gaining traction overseas, especially in Europe, where upgraded biomethane is increasingly being supplied to city gas grids and used as vehicle fuel. Systems that allow for trading that makes a distinction between environmental value and fuel value have been established, and the number of upgraded biomethane facilities and equipment capacity have been growing in recent years due to the economic support provided by national governments. Renewable energy sources that can be used as fuel, such as biogas, are valuable, and the promotion of their use as city gas alternatives and vehicle fuel in Japan going forward with reference to the measures adopted overseas is essential for the decarbonization of gas fuels.

目次

1 業務概要	1
1.1 業務目的	1
1.1.1 事業の背景	1
1.1.2 事業の目的	1
1.1.3 2021 年度（令和 3 年度）実施業務	2
1.1.4 2022 年度（令和 4 年度）実施業務	3
1.1.5 2023 年度（令和 5 年度）実施業務	3
1.1.6 2024 年度（令和 6 年度）実施業務	4
1.2 事業の全体像	4
1.2.1 既存プラントの概要	4
1.2.2 実施事業の概要	8
1.2.3 実証技術について	9
1.3 技術開発・実証の目標設定	16
1.4 事業実施主体、実施体制、役割分担	17
1.4.1 事業実施主体	17
1.4.2 実施体制	17
1.4.3 役割分担	19
1.5 事業スケジュール	19
2 実施状況	21
2.1 バイオガスの精製・貯蔵・充填に関する実証	21
2.1.1 実証施設の管理及びデータ取得について	21
2.1.2 バイオガスの精製実証	22
2.1.3 精製バイオメタンの貯蔵実証	24
2.1.4 バイオガスの充填実証	27
2.1.5 生ごみ収集車（CNG 車）の走行実証	27
2.1.6 精製・貯蔵・充填及び車両走行実証のまとめ	29
2.1.7 施設・設備のメンテナンス及びトラブル対応について	30
2.2 経済性評価及び二酸化炭素排出量削減効果	32
2.2.1 普及規模及び評価ケース	32
2.2.2 試算結果	38
2.3 普及戦略の検討	52
2.3.1 EU のバイオガス・バイオメタン普及状況	52
2.3.2 EU におけるバイオガス・バイオメタンに関する政策・施策	56
2.3.3 ガス品質の管理について	59
2.3.4 運用面での日本との相違	60
2.3.5 日本の現状と課題	61
2.3.6 まとめ 国内での精製ガス利用の普及に向けて	67
2.4 検討会の開催	71
2.4.1 第一回検討会	71

2.4.2 第二回検討会	73
2.5 審査等委員会への出席	74
2.6 ヒアリング等への協力	75
2.7 業務委託先との打合せ	75
3 参考資料	76
3.1 エンジン性能試験結果	76
3.2 コスト・CO ₂ 排出量の試算詳細	79
3.2.1 施設・設備規模及びコスト試算	79
3.2.2 CO ₂ 排出量試算	90
3.3 フロー図（数値入り）	96
3.4 海外動向視察報告	99

1 業務概要

1.1 業務目的

1.1.1 事業の背景

真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合（以下、「当組合」という。）は、2011年の設立以来、真庭市の廃棄物処理を持続可能にするための活動や働きかけを継続している。2014年にはメタン発酵実証プラント（以下、「既存プラント」とする。）を環境省・農林水産省の委託事業により設置し、2024年まで真庭市と連携・協働して市内約4,000世帯の生ごみや、し尿・浄化槽汚泥等を原料とした液肥化と発電によるエネルギー利用を行った。

過去の実証ではバイオガスの有効活用として、発電と電力の施設内利用にも取り組んだが、施設内負荷と発電量の連動調整が難しいことが明らかになった。全量売電であれば施設内需要への対応として負荷に応じて発電量を制限する必要はない。しかし、売電を前提としていない施設内利用のケースでは、施設内需要以上の発電が生じる場合には逆潮流ができず発電機を止めることになり、制御が難しく発電効率の悪化にもつながる。他のメタン発酵処理施設でも、コストや敷地の制約からガス貯留量が少ない施設が多く、ガス発生量が一時的に発電機での消費量を超える場合や、メンテナンス等でガスが余る場合は、余剰ガスとして焼却処分される場合もある。将来的なメタン発酵処理施設の普及とバイオガスの有効活用には「エネルギーの貯留」や「FIT売電に依存しないエネルギー利用方法」が必要であると感じたことが本事業の背景にある。

また中小規模の自治体は、ごみ発電が導入しにくいという背景もある。一定規模以上の焼却施設はごみ発電を導入することでエネルギー回収が可能だが、中小規模の自治体では焼却施設が大規模化できずごみ発電の導入が困難なケースも多い。このようなケースでは、生ごみやし尿をメタン発酵処理施設でエネルギー化することで環境負荷とコスト両面でのメリットがあると考えられる。

1.1.2 事業の目的

(1) 現状の課題

現状の課題として、以下のような事項が挙げられる。

- ・ メタン発酵プラントでのバイオガス用途として発電利用が一般的だが、FIT売電以外で経済的かつCO₂排出量削減につながるバイオガスの有効活用の方法が少ないこと。
- ・ メタン発酵とバイオガス利用を推進するためには、用途と貯蔵の課題解決が必須であること。
- ・ ごみ量が少なく、ごみ発電の導入しにくい中小自治体において、コストを抑えエネルギーの有効活用が可能なモデルが少ないこと。

これら課題の解決策として、当組合の既存プラントで生成するバイオガス（以下、メタン発酵処理施設で生成され、精製やLPガス添加等が行われていないガスを「バイオガス」と

する。)を利用し、精製・貯蔵・利用実証を行うこととした。精製後のメタンガス(以下、「精製バイオメタン」とする。)は、天然ガス自動車(本実証で利用する天然ガス自動車はCNG車のため、以下「CNG車」とする。)の燃料として利用し、車両は生ごみの収集運搬に利用した。

これら実証の目的は次項の通りである。

(2) 事業の目的

- ・ 地域循環共生圏の形成に資する、廃棄物を利用したエネルギーを地域内で循環させる事業モデルの実現可能性を示すこと。
- ・ PSAとガス分離膜を併用した「ハイブリッド精製」を含む事業モデルのCO₂排出量削減効果を明らかにすること。
- ・ 吸着貯蔵により高純度ガスを貯蔵することで、敷地面積に制約のある施設における利用可能性とメリットを確認すること。
- ・ 精製バイオメタンを都市ガス規格と同等な品質に調整し、CNG車での利用可能性を確認することで、FIT売電を前提としていない施設や、卒FITを迎えるメタン発酵処理施設で活用可能な、安定的・経済的バイオガス利用モデルを示すこと。
- ・ ハイブリッド精製・吸着貯蔵・車両でのガス利用それぞれの課題等を明確にし、類似施設での普及に資する情報を集約すること。

1.1.3 2021年度(令和3年度)実施業務

本事業は2021年度(令和3年度)から4年間の実証である。1年目は、本実証に必要な各設備の設計等を実施し仕様を確定したほか、1期工事として実証用地の基礎設計、基礎工事及び一部設備の設置工事を実施した。実証車両についても仕様を決定し、生ごみ収集での走行距離から必要なガス量を算出した。車両走行に必要なガス量は、既存プラントのバイオガス量の1/3程度であったため、既存プラントの発電とガス精製を切り替え可能な制御方式とした。

設計を行う上で、関係法令について確認を行った。メタン発酵によるバイオガスを精製し導管により供給する場合や、事業者自らが利用する場合には、高圧ガス保安法ではなくガス事業法が適用(準用)されることから、実証設備のコスト削減策として、ガス事業法上のガス工作物として使用が認められている小型充填設備の設置を検討したが、本実証のバイオガス精製後の充填利用については、都市ガス導管からのガス利用ではないことからガス事業法の準用は難しいことが所轄官庁への確認で明らかになった。そのため本実証の充填設備としては、高圧ガス保安法及び関連する技術基準に則った設備を設計、設置する必要があることを確認し、設計仕様に反映させた。

また、実証で製造・利用する製品ガスの性状についての試算を行った。既存プラントのバイオガス組成と、付臭及び熱量調整の目的で混合する液化石油ガス(LPガス)の組成を確

認した上で、バイオガスの精製度（メタン濃度）とLPガスの混合比率を組み合わせ、混合ガス（以下、「製品ガス」とする。）の品質予測を行った。製品ガスについてはいずれのケースでも12Aまたは13Aガスの範疇に入ることを確認し、試算上では車両走行には問題がない品質であることを確認した。

1.1.4 2022年度（令和4年度）実施業務

2年目となる2022年度（令和4年度）は2期工事として、精製設備、吸着貯蔵設備、充填設備の設置工事を完了させ、試運転調整を行った。精製・貯蔵・充填の各データは常時監視システムにより管理を行い、各種データの記録及び分析を実施した。

精製実証では、原料となるバイオガスのメタン濃度が39.1～76.2%と変動が大きかったが、精製により安定的に95%以上の精製バイオメタンを製造可能なことを確認した。製品ガスは精製バイオメタン：LPガスの混合比率を体積比で100：9（以下、「LPガス添加率9%」とする。）として、都市ガス13A相当の製品ガスとした¹。

貯蔵実証では、吸着貯蔵タンクの内部圧力監視を行い、0.1～0.6MPaの範囲で安定的に貯蔵が可能であることを確認した。

充填及び走行実証は、真庭市の生ごみ収集車両2台の内、1台を本実証用のCNG車に置き換えて実施した。走行実証は通算で80回以上行う計画であり、2022年度は37回の走行実証を行った。その結果、日常的な走行に問題はなく、バイオガスを原料とした製品ガスがCNG車の燃料として利用可能なことを確認した。また、充填及び走行実証の結果から燃費についての推計を行った。

将来的な普及に向け、経済性評価やCO₂排出削減量比較のベースとなる普及機の能力等について、自治体規模を検討し、必要能力の試算と概算コストの確認を行った。CO₂排出量比較については、評価ケースを設定し、評価境界についての案を作成した。またメタン発酵消化液の肥料利用について、本州地域での事例について取りまとめを行った。

1.1.5 2023年度（令和5年度）実施業務

2023年度も継続してバイオガスの精製・貯蔵実証を実施した。LPガス添加率9%の製品ガスでの走行実証を6～8月に実施した。その後、11～12月には精製バイオメタンに付臭及び熱量調整用に添加しているLPガスの量を減らし、混合比率を体積比で100：2（以下、「LPガス添加率2%」とする。）とすることで、CO₂排出量の少ない製品ガスの製造と走行実証を実施した。走行実証については50回実施した。

製造した製品ガスについては、いすゞ自動車の協力によりエンジン性能試験を実施した。エンジン性能試験の結果、LPガス添加率9%の製品ガスについては都市ガス13Aと同等の結果が得られた。

¹ 添加率は流量計で測定している精製バイオメタンの量に対しての添加率を示す。以下同じ。添加率9%と記載している場合、精製バイオメタンとLPガスの混合比率（体積比）が100：9であることを示す。

また、バイオガス精製設備について、普及を前提とした規模のモデルを設定し、概算コストやエネルギー消費を踏まえた CO₂ 排出量についての試算を行った。CO₂ の排出量の比較では、提案システムの内「LP ガス添加率 2% の製品ガスを車両燃料として利用、余剰ガスは外部供給し軽油代替燃料とする」ケースで最も排出量が低い結果が示された。

1.1.6 2024 年度（令和 6 年度）実施業務

2024 年度は、LP ガスを添加しない精製バイオメタンのエンジン性能試験結果分析を行った。エンジン出力は都市ガス 13A と比較して最大 4% 減少することが分かった。排出ガスについては 13A との有意差は見られなかった。

走行実証では、LP ガス添加率 2% の製品ガスによる夏季の走行実証を実施し、公道走行に問題がないことを確認した。

CO₂ の排出量及び経済性評価では、LP ガスを添加しない精製バイオメタンを利用した場合について再評価を行い、より小規模の自治体（人口約 5 万人）においても普及可能性の評価を行った。いずれの自治体規模においても提案システムが最も CO₂ 排出量が少ない結果が示された。

さらに、先進地での精製バイオメタンの利用状況等を確認するため、フランス及びドイツでの視察調査を実施した。

最終的なまとめとして実証結果の総括と評価を行うとともに、海外での普及戦略や成功事例も参考とし、将来的な日本での普及戦略について取りまとめを行った。

1.2 事業の全体像

1.2.1 既存プラントの概要

既存プラントの概要は以下の通りである（図 1-1、表 1-1、図 1-2）。



図 1-1 既存プラント

表 1-1 既存プラントの概要

場所	岡山県真庭市西河内 真庭り協バイオガスプラント
既設プラントの概要	2015 年度(平成 27 年度)より稼働 平成 26～28 年度地域循環型バイオガスシステム構築モデル事業 (環境省・農林水産省)で整備。同モデル事業の実証期間終了後も、 真庭市より運転管理の委託を受け、対象地区での生ごみ、し尿等を 原料として、当組合が運転管理を 2024 年まで行った。
発酵方式	中温・湿式
設備受入容量	5t/日 (家庭系生ごみ、し尿、浄化槽汚泥、事業系生ごみ等の一般廃棄物) 生ごみ収集対象世帯は約 4,000 世帯
既存発電設備	25kW コージェネレーションシステム×1 台
残渣処理	液肥として全量市内の農地に還元しており、排水処理は行っていない

9月	26,980	6,727	43,430	10,250	6,110	340	183	7,869
10月	25,850	6,714	31,730	19,600	7,615	360	159	8,537
11月	26,540	7,791	34,800	14,290	5,415	340	158	8,011
12月	27,780	8,119	42,750	5,200	7,005	340	179	9,268
1月	27,140	5,883	22,640	20,580	4,125	220	224	6,672
2月	25,060	5,414	13,510	9,100	4,970	160	142	6,574
3月	26,450	6,663	10,810	13,000	6,315	180	193	7,211
合計	317,770	82,472	371,040	150,880	76,735	3,636	2,328	93,239

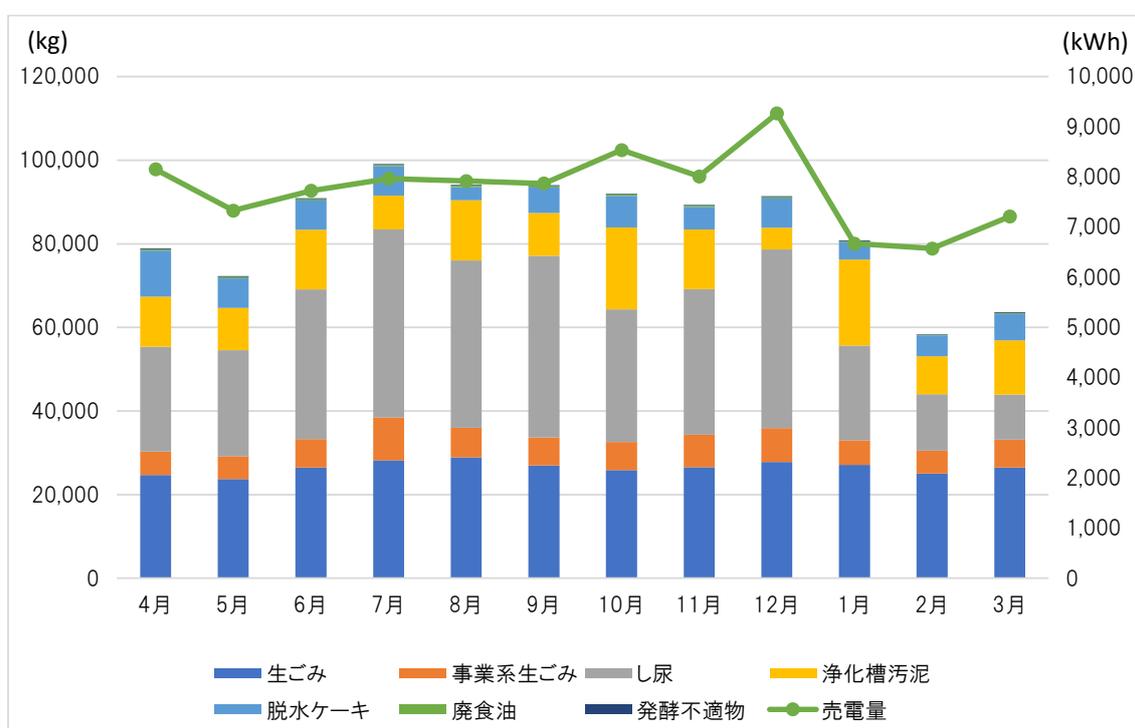


図 1-3 既存プラントの原料受け入れ量・売電量（2020年度実績値）

既存プラントでの実証を経て、真庭市では全市を対象とした資源化事業の開始に至った。新施設が2024年度より供用開始となったため、既存プラントも本実証の終了とほぼ同時期に稼働を停止した。



図 1-4 既存プラントの概要フロー

1.2.2 実施事業の概要

本事業では、既存プラントからのバイオガスを精製・貯蔵し、生ごみ収集車両で燃料として利用するまでの実証を行った。既存プラントの隣地に実証設備を設置し、配管でバイオガスの供給を実施した（図 1-5）。



図 1-5 既存プラントと本実証設備の配置

バイオガスの精製技術としては、圧カスイング吸着法（PSA）と CO₂ 分離膜を併用した「ハイブリッド精製」を、貯蔵は吸着剤を充填した「吸着貯蔵」技術を利用した。車両は一般販売されている CNG 車を利用した。実証範囲の概要図を図 1-6 に示す。

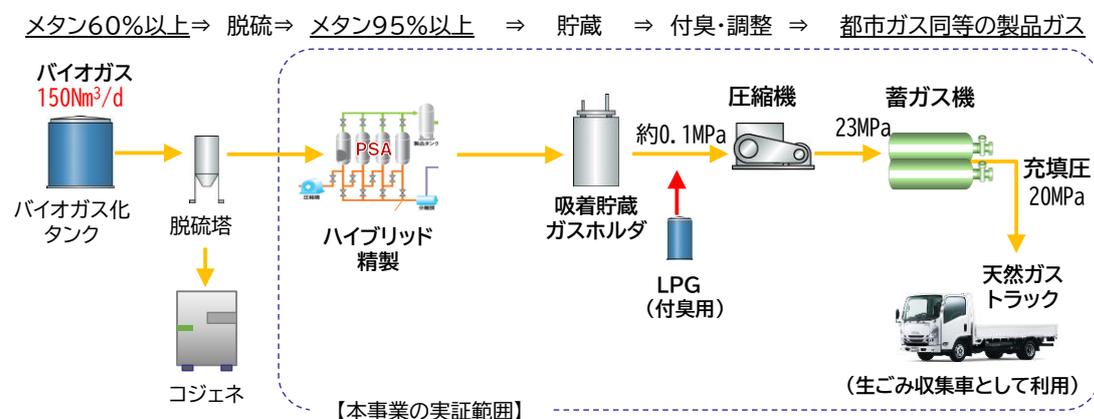


図 1-6 実証範囲（概要図）

1.2.3 実証技術について

(1) 精製技術

バイオガス精製技術についての概要を表 1-3 に示す。ハイブリッド精製は、精製技術の内、圧カスイング吸着法（PSA）と CO₂ 分離膜を併用する方法であり、一般的な PSA と比較してメタンガス回収率を向上可能な利点がある。バイオガス精製技術の内、国内ですでに導入事例のある高圧水吸収法は大量の水を使用するため下水処理施設での適用に向いてい

るが、ハイブリッド精製は、処理水の発生が少ない一般廃棄物（生ごみ・し尿等）や畜産系のメタン発酵システムにも適用可能である。バイオガス精製の手法としては、このほかにも、化学的な分離方法（アミンガス処理等）や極低温分離等の手法もあるが、国内ではバイオガス精製利用が一般的になっていないため、導入事例が少ない。

表 1-3 バイオガス精製技術の種類と概要

<p>圧カスイング吸着法(PSA)</p>	<p>バイオガス中の CO₂ を吸着材に吸着させ除去する。ガスの分子サイズの違いによる脱着速度の差を利用して分離後、圧力差により脱着させる。</p> <p>CH₄ を高純度まで精製可能であるが、10%程度の回収できないメタンガスは、オフガスとして大気放出されてしまう。(温室効果ガスであり、エネルギーロスでもある。)</p> <p>メタン濃度 95%以上でメタン回収率 90%以上。</p>
<p>ハイブリッド精製 (PSA+CO₂分離膜) <u>今回の実証で採用する技術</u></p>	<p>PSA と CO₂ 分離膜を併用することで、メタン回収率を向上。実証試験においてメタン濃度 98%以上、回収率 97~98%を確認している。</p> <p>メタン回収率が高くなるため、エネルギー回収率も高くなる、オフガスとして大気放出されるメタンガスがほとんど発生しない、中規模以上でコスト・温室効果ガス削減効果ともに PSA を上回る等のメリットがある。</p>
<p>膜分離法</p>	<p>原料ガスに含まれる対象ガスを膜浸透速度の差を利用して分離する方法。比較的新しい手法であるが実用化が進んでいる。</p>
<p>高圧水吸収法</p>	<p>精製に水を利用する方法。圧力上昇に伴い気体が水へ溶解する差を利用してガスを分離する。精製されたガスには水蒸気による水分を含み、排水には硫化水素、CO₂、アンモニアが含まれる。</p> <p>大量の水が必要になるため、下水処理施設等で再生水が利用可能なメタン発酵プラントに向いている。こうべバイオガスはこの方式を採用している。</p> <p>設備コストが高額であり、中小規模のメタン発酵プラントには不向き。</p>

本実証のハイブリッド精製でも利用する圧カスイング吸着法 (PSA) についての概要図を図 1-7 に示す。吸着塔内の圧力を操作し、バイオガス中の CO₂ を選択的に吸着材に吸着させることで除去する技術であり、加圧・減圧を繰り返すことで高濃度のメタンガス回収が可能となる。減圧時には吸着材に吸着された CO₂ をオフガスとして大気放散させるが、このオフガス中には CH₄ も 10%程度含まれており、メタンガス回収率低下の要因となっている。

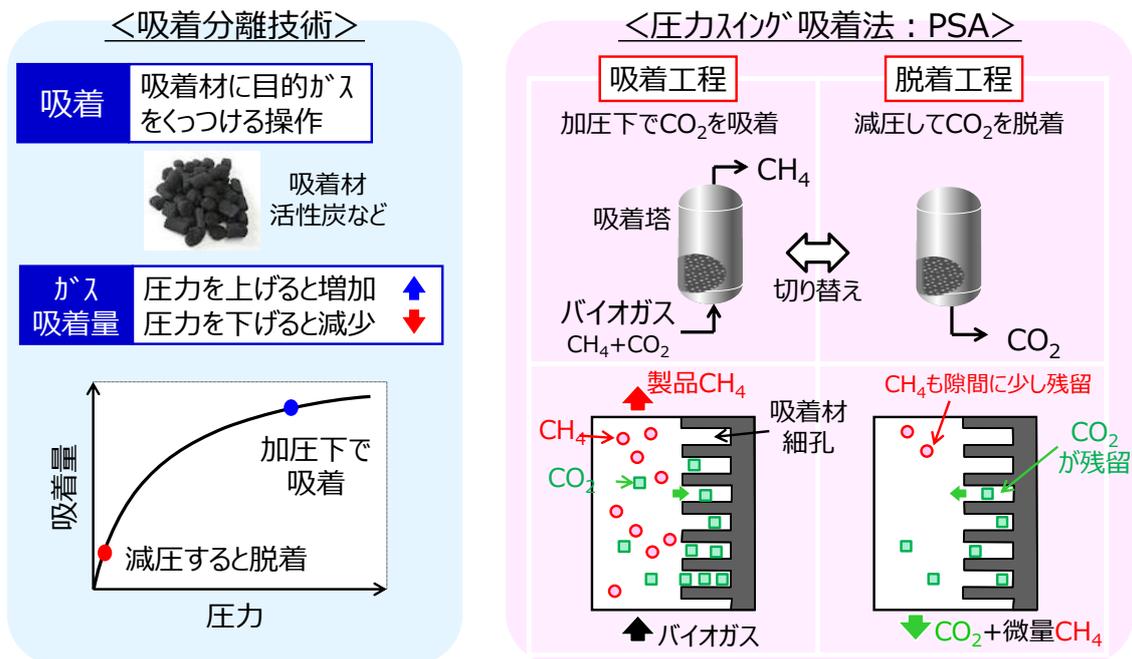
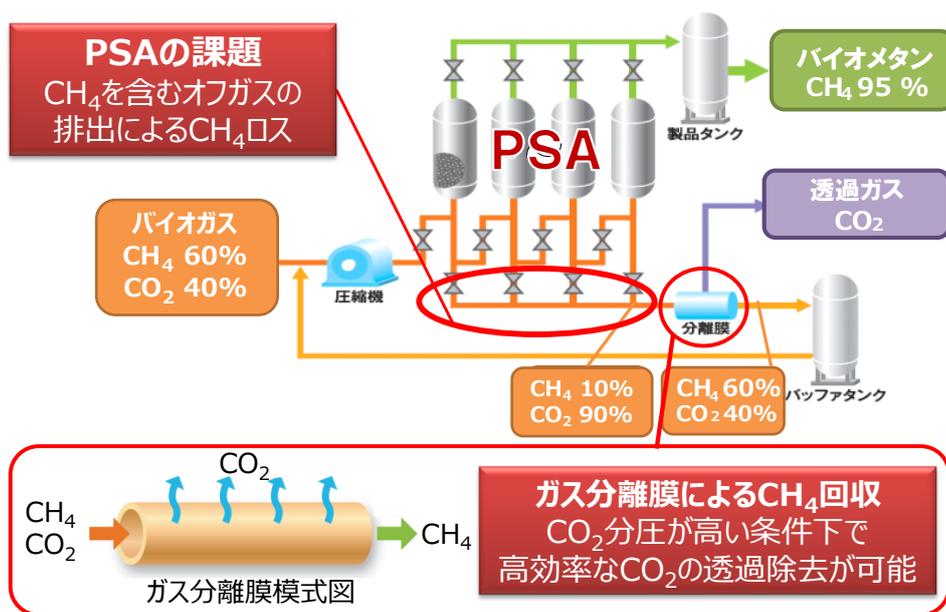


図 1-7 PSA（圧カスイング吸着法）の概要図²

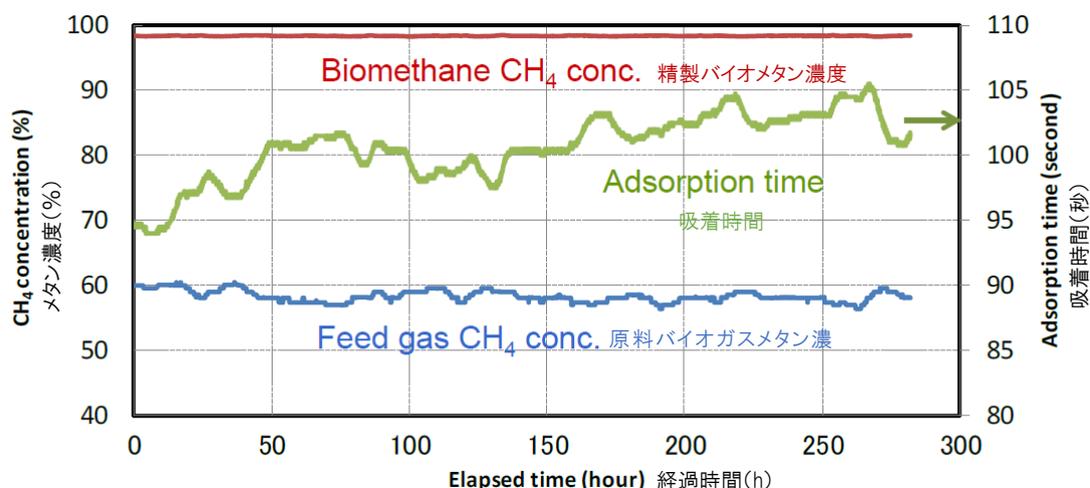
ハイブリッド精製の概要図を図 1-8 に示す。ハイブリッド精製については、Daigas グループがプロセス特許を保有しており、本実証ではその精製技術を採用する。ハイブリッド精製においては、PSA から排出されるオフガスを CO₂ 分離膜に通し、CH₄ 分を濃縮回収することでメタン回収率を向上させている。CO₂ はガス分離膜を透過することで大気放散されるが、この透過速度は CO₂ の分圧に依存する。PSA のオフガスは高い CO₂ 濃度、すなわち高い CO₂ 分圧を持つため、通常のバイオガスを CO₂ 分離膜で処理する場合に比べ高効率な透過分離を実現している。

² 大阪ガス(株)提供資料

図 1-8 ハイブリッド精製（イメージ図）³

バイオガスの特徴の一つとして、原料や投入量、管理状況によりバイオガス中のメタン濃度に変化することが挙げられるが、車両利用のためには安定的に規格を満たすガスを製造する必要がある。ハイブリッド精製では、原料となるバイオガスのメタン濃度に関わらず製品ガスの濃度を一定に維持するために、吸着時間の調整制御を行う。図 1-9 は、原料バイオガスのメタン濃度、吸着時間、精製バイオメタン濃度に関する過去の実証データである。この実証の際には、精製バイオメタンのメタン濃度を 98.2～98.5%の範囲に維持することが可能であった。

³ 大阪ガス(株)提供資料

図 1-9 過去の実証結果⁴

(2) 貯蔵技術

貯蔵技術としては、吸着剤を充填したタンクでの低圧貯蔵を利用した。プロパン（石油ガス）は、常温でも圧力をかけること（約 0.8MPa）で容易に液化し、体積が気体の約 1/250 となるため、圧力ポンペで大量貯蔵が可能である。一方、バイオガスの主成分であるメタンは、圧力をかけただけでは圧縮はされるが液化はしない。メタンガスは常圧では、 -162°C に冷却することで液化し、体積が気体の約 1/600 となるが、中小規模の施設でメタンガスの貯蔵のために -162°C の温度を保つのは現実的には難しく、冷却にエネルギーが必要な分、エネルギー収支も悪化する。また、メタンガスは圧縮性も高くないため、圧縮により大量に貯蔵するためには高い圧力が必要である。しかし、吸着式の貯蔵では活性炭を吸着材として利用することで比較的 low 圧でも常圧時と比較して 20 倍程度のガス貯蔵が可能である（図 1-10）。前段でバイオガスを精製してから貯蔵することで、エネルギー密度としてはバイオガスの 30 倍程度の貯蔵が可能になる。

図 1-11 はメタンガスの貯蔵可能量を手法別に示したイメージ図である。比較的 low 圧（3MPa 程度）では、吸着式のガス貯蔵は圧縮式と比較してかなり有利になる。この特性を利用して省エネルギーで比較的多くのガス貯蔵が可能という点が吸着貯蔵の利点である。

⁴ 大阪ガス(株)提供資料



図 1-10 吸着貯蔵のイメージ⁵

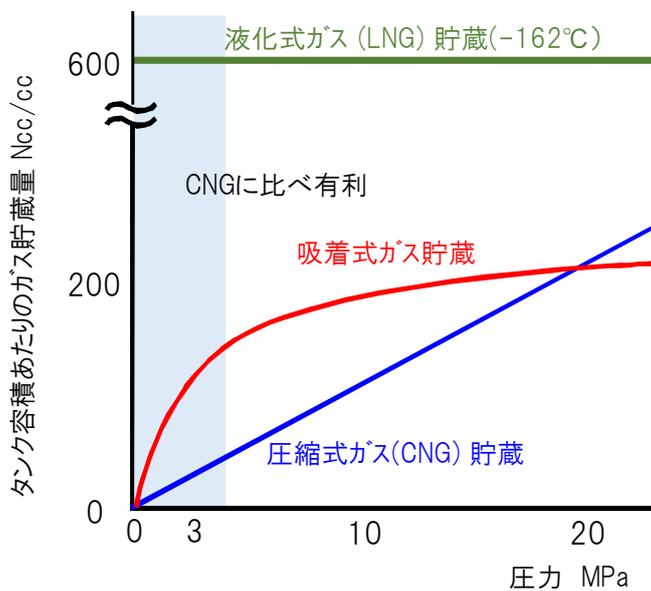


図 1-11 メタンガスの手法別貯蔵量 (圧縮・液化・吸着)⁶

(3) 車両利用

本事業では、CNG 車への燃料利用を前提としてガスの精製を行った。車両に利用するガスは通常は都市ガスを燃料として想定しているため、熱量等の調整及び付臭のために、LP

⁵ Daigas ガスアンドパワーソリューション(株)提供資料

⁶ Daigas ガスアンドパワーソリューション(株)提供資料

ガスを精製バイオメタンの体積に対し数% (1~9vol%) 添加し、CNG 車の燃料とした。車両は市販されている CNG トラック (図 1-12) を使用し、真庭市の協力を得て既存プラントへの生ごみ収集運搬車として利用した。



図 1-12 CNG トラック⁷

国内のメタン発酵プラントでは売電を前提としていない施設もあり、また、現状では売電をしているプラントでも、卒 FIT 後には売電よりも有利なエネルギー利用方法を検討する必要がある。FIT 制度も今後は制度そのものが変わるため、経済的で環境負荷の低いバイオガスの利用方法が求められている。

バイオガス利用用途の選択肢を広げる意味で、車両へのガス利用は、都市ガス管への投入と比較して自動車に与える影響だけを考慮すればよいと、品質の対応が比較的しやすくガス利用の有効な手段と言える。しかし、CNG 車へのバイオガス利用は日本では進んでいないのが現状である。先行事例としては、こうべバイオガス (神戸市) が挙げられるが、規模が大きい下水処理施設 (年間 2 億 m³ の下水を処理) での実証例であり、ガス精製の方法も水を多量に使用する方式 (高圧水吸収法) のため、中小規模の一般廃棄物処理施設には展開しにくい課題がある。

本事業では、精製バイオメタンに付臭をし、成分調整をした上で車両への利用実証を実施しており、実証施設で製造した製品ガスでのエンジン性能試験等もいすゞ自動車株式会社の協力を得て実施した。エンジン性能試験については排出ガス規制に抵触しないかどうかの重量車排出ガス試験 (JE05 モード)、全負荷試験等を実施した。

⁷ いすゞ自動車株HP より (実際の車両は収集運搬用に改造を行った)

1.3 技術開発・実証の目標設定

技術開発・実証の目標設定は表 1-4 の通りである。2024 年度の目標をすべて実施し、4 年間の実証事業の最終目標を達成した。

表 1-4 目標設定

	項目	最終目標	2024 年度(令和 6 年度)の目標
0	全体目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両利用実証の通年でのデータを取りまとめる。合計車両実走回数 80 回以上。 ・ ハイブリッド精製・貯蔵・利用までの実証を完了し、実証規模と普及を想定した規模の施設での CO₂ の排出削減量の評価を行う。 ・ CO₂削減単価が 3,000 円/t-CO₂以下となる事業規模の試算・検討を行う。 ・ 本モデル事業の普及に向け、関連法規や留意点等を取りまとめ、報告書に掲載する。 	関係者との検討会を開催し、初回では実証の経過・概要計画の共有と確認、2 回目では実証結果、CO ₂ 排出量の評価、経済性評価についての検討結果の共有及び普及戦略についての検討を行う。
1	ハイブリッド精製に関する検証	車両利用に必要な規格を満たすガスを安定的に精製可能であることを確認する。	車両利用に必要な規格を満たすガスを安定的に精製可能であることを確認する。バイオガスの精製に関しては、メタンガスを 40%以上含む原料バイオガスを、精製後に平均メタン濃度で 95%以上とし、LP ガスと混合した製品ガスを製造する。また、LP ガスを添加しない精製バイオメタンの利用可能性を確認するため、エンジン性能試験の結果を取りまとめる。
2	吸着貯蔵に関する検証	ハイブリッド精製と組み合わせたバイオガスの貯蔵を行う。	車両利用に必要な規格を満たすガスを安定的に貯蔵可能であることを確認する。
3	車両利用に関する技術検証	生ごみ収集車両(CNG 車)で燃料として利用するための実証を行う。	都市ガス 12A 相当に調整した製品ガスを利用し、CNG 車でのごみの収集運搬実証を 10 回以上実施する。
4	CO ₂ 排出量試算データの収集・分析	CO ₂ 排出削減量の評価を行う。	CO ₂ 排出削減量の評価のためのデータ収集を行い、普及規模を想定した CO ₂ 排出削減量について評価を行う。4 年間の実証と試算の結果を踏まえ、より小さな自治体(人口 5 万人程度)への導入可能性検討を行い、CO ₂ 排出量についての評価を取りまとめる。

5	普及戦略の検討	提案システムを普及するための戦略を作る。	ハイブリッド精製について普及を想定したシステム規模を設定し、コスト評価を行う。また、海外での導入事例や普及戦略を取りまとめ、ハイブリッド精製に限定せず、日本での精製ガス利用の普及に向けた留意点や改善点についても取りまとめを行う。
---	---------	----------------------	--

1.4 事業実施主体、実施体制、役割分担

1.4.1 事業実施主体

本事業の実施主体は当組合（真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合）である。当組合は、2011年に真庭市内の一般廃棄物の収集運搬を行う事業者4社で設立し、2014年に協同組合として正式に法人化した。設立以来、一貫してごみの資源化・減量化を目指し、地域密着型・地域参加型の有機資源リサイクル事業を通じて、地域社会と地域環境の保全に貢献することを目的として活動を継続してきた。2014年にはメタン発酵の実証プラントを環境省・農林水産省の委託事業により設置し、真庭市と連携・協働して市内約4,000世帯の生ごみや、し尿・浄化槽汚泥等を原料として液肥化とエネルギー利用を行ってきた。

1.4.2 実施体制

本事業の実施体制を図1-13に示す。当組合は、事業の中核となり実証事業を推進した。実証施設の運営や車両収集等の実務は当組合の構成企業からの支援を受けた。実証施設は大阪ガスリキッド株式会社が設置した。また、図には掲載していないが、Daigasグループにはガス精製・貯蔵・充填実証全般において運転管理や関連法規の確認等についての協力・支援を受けた。いすゞ自動車株式会社は精製バイオメタンによる製品ガスでのエンジン性能試験等の実証協力を行った。CO₂排出削減量のデータ分析やバイオガス精製の各プロセスにおいては専門家として岡山大学廃棄物マネジメント研究センターの藤原教授と株式会社バイオガ斯拉ボの三崎氏に助言をいただいた。真庭市からは市が実施する生ごみの収集運搬業務において、本実証事業の車両利用に協力をいただいた。株式会社Fermentoは、事業実施にあたっての進捗管理やCO₂排出削減量評価等を行った。

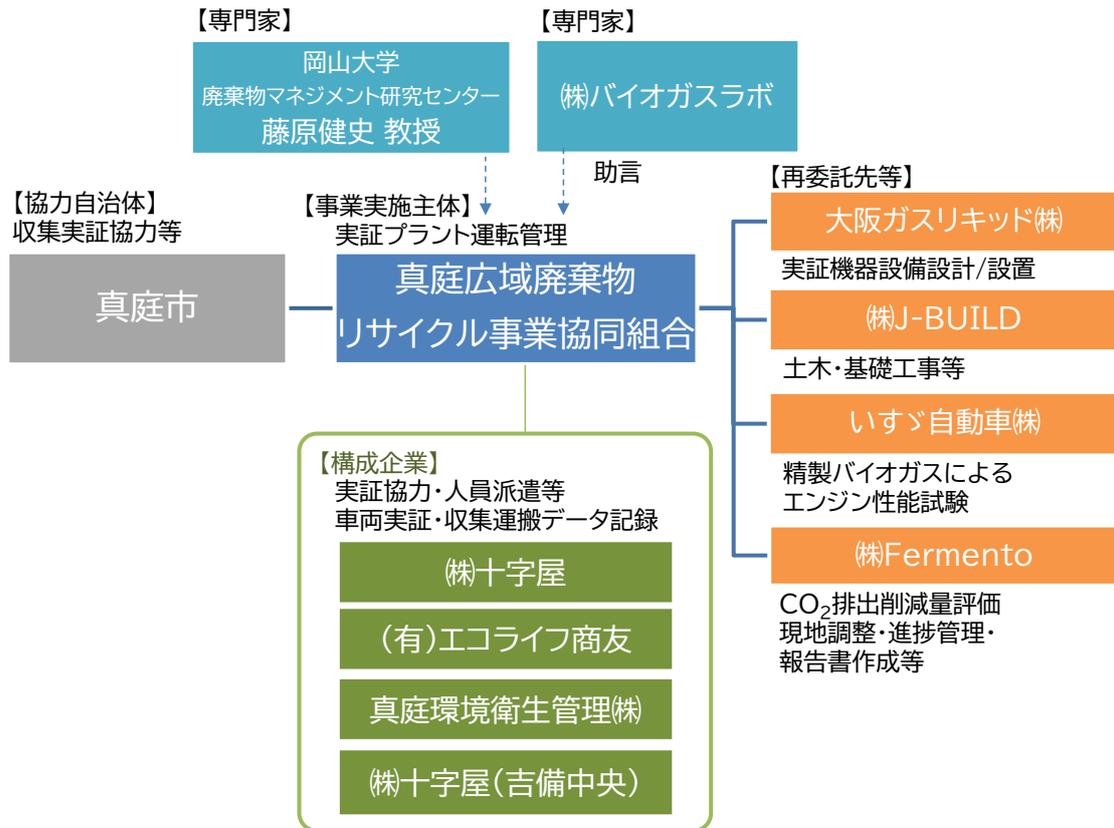


図 1-13 実施体制

1.4.3 役割分担

本事業における役割分担は表 1-5 の通りである。

表 1-5 役割分担

組織名・個人名	役割
真庭広域廃棄物リサイクル事業 協同組合 及び構成企業 ・株式会社十字屋 ・有限会社エコライフ商友 ・真庭環境衛生管理株式会社 ・株式会社十字屋(吉備中央)	事業責任者 全体管理 契約管理 実証プラント運転管理業務 車両実証 収集運搬データの記録 調整業務全般
大阪ガスリキッド株式会社	実証設備設計・施工 関連法規等対応支援
株式会社 J-BUILD	土木・基礎工事等
いすゞ自動車株式会社	車両実証への協力 精製バイオメタンによる製品ガスを利用したエンジン性能試験 の実施支援
真庭市生活環境部環境課	市内モデル地区で実証車両を利用した生ごみ収集への協力 ※市内モデル地区で実施している生ごみ収集(収集回数は週 4回)において、収集車両 2 台の内、1 台を実証車両に変更・利用
岡山大学廃棄物マネジメント研究 センター 教授 藤原健史氏	CO ₂ 排出削減量評価への助言
株式会社バイオガ斯拉ボ	技術面での助言
株式会社 Fermento	CO ₂ 排出削減量評価 資料作成 報告書作成支援等

1.5 事業スケジュール

事業スケジュールを図 1-14 に示す。

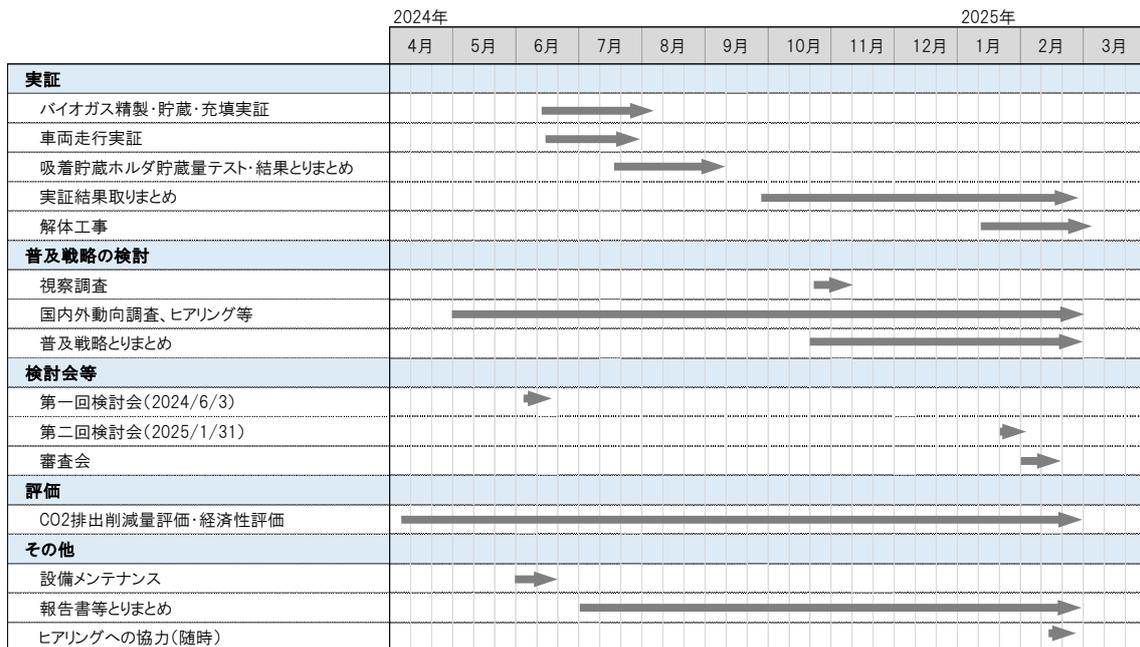


図 1-14 実証スケジュール

2 実施状況

2.1 バイオガスの精製・貯蔵・充填に関する実証

2.1.1 実証施設の管理及びデータ取得について

実証施設の管理は、日常点検等による管理と常時監視システムによる管理を行った。日常点検は、起動前、稼働中、停止後の3回/日実施しており、点検項目の内、標準範囲を外れた値が認められた場合は、随時メーカー担当者に連絡を取り確認と対応を行った。

システムによる監視については、実証施設建屋内の制御盤と同様のリアルタイム監視が可能なように、当組合の事務所に専用パソコンを設置した。また、大阪ガスリキッド株式会社でもリアルタイム監視を行っており、警報が出た場合には担当者に即時メール等で連絡が入るシステムとした。

監視システムは、全体フロー、各ユニットのフロー（精製ユニット①②、ミキシングユニット、蓄ガス・充填ユニット、ユーティリティ）が確認可能な画面から構成されており、実証施設の詳細な状態が常時確認可能である。全体フロー画面を図 2-1 に掲載する。

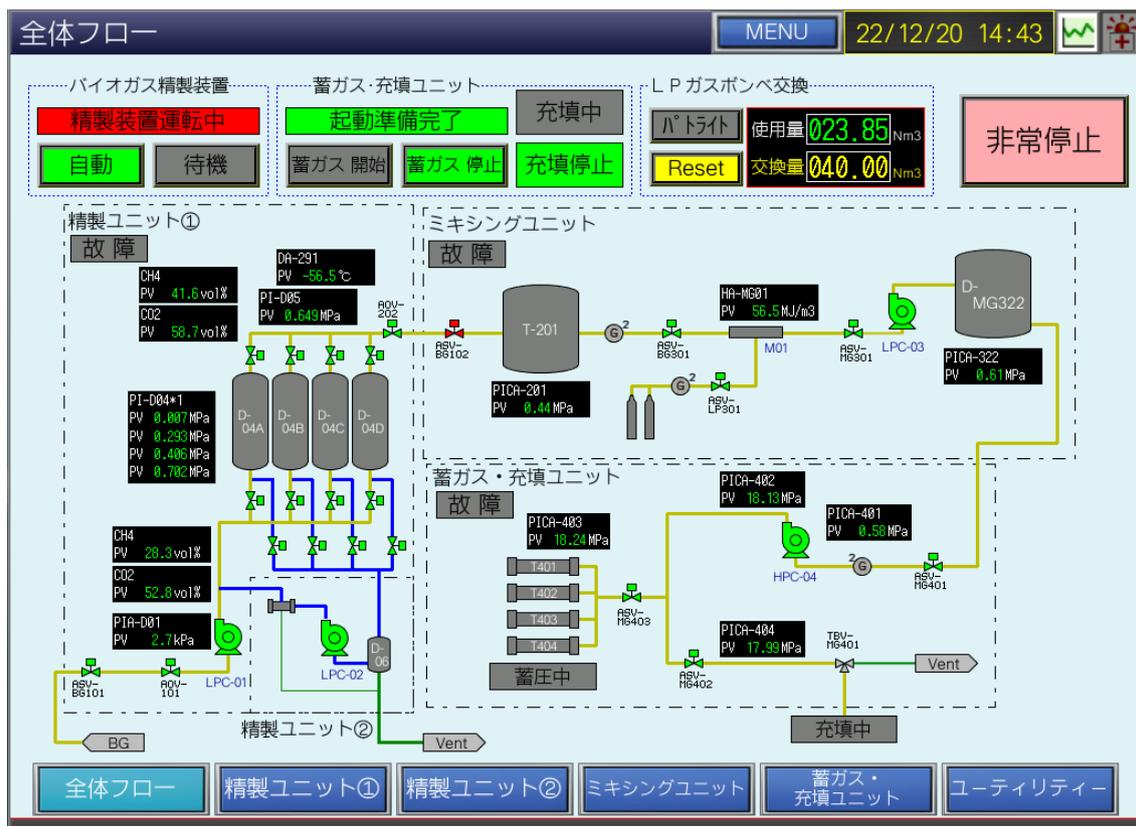


図 2-1 監視システム（全体フロー画面）

データの取得に関しては、システムによるリアルタイム監視のほか、日別の1分データと1時間データがcsvファイルとして自動保存されるように設定した。

2.1.2 バイオガスの精製実証

表 2-1 にバイオガスの精製実証の実施期間を示す。バイオガスの精製に関しては、2023 年 6～8 月までの夏季走行実証用には LP ガス添加率 9%の製品ガス（都市ガス 13A 相当）を、11～12 月の冬季走行実証用には LP ガス添加率を 2%まで引き下げた製品ガス（同 12A 相当）を製造し、生ごみ収集車両の燃料として利用する走行実証を行った。また、走行実証を実施しない期間中には、エンジン性能試験用の製品ガスの製造・充填や各種のメンテナンス等を実施した。

表 2-1 バイオガス精製実証期間

期間	LP ガス添加率	備考
2022/12/5～2023/2/21	9%	(冬季実証)
2023/6/19～2023/8/11		(夏季実証)
2023/8/21～2023/8/25		エンジン性能試験用のガスを製造・充填
2023/11/6～2023/12/28	2%	(冬季実証)
2024/1/10～2024/1/31	0%	エンジン性能試験用のガスを製造・充填
2024/6/7～2024/7/12	2%	(夏季実証)

製品ガスを製造するに当たり、LP ガスの添加率は低い方が CO₂ 排出量は少なくなる。一方で、「都市ガス同等」のガスを車両燃料とする必要があり、どこまで LP ガス添加率を低減可能かについて製品ガスの品質及び臭気の観点から試算と確認を行い、LP ガスの添加率を 2%と設定し、走行実証を実施した。さらに、LP ガスを添加しないガスについて、エンジン性能試験を実施した。エンジン性能試験の結果については参考資料 3.1 に記載した。

(1) 精製実証の結果データ

2022 年度から実施した精製実証の結果として、原料バイオガスと精製バイオメタンのメタン濃度を表 2-2、表 2-3 に示す。原料バイオガスについては、時間帯別でみると午前中の稼働開始時にはメタン濃度が高く、時間の経過とともに濃度が下がる傾向がある。原料バイオガスのメタン濃度に関わらず精製バイオメタンは安定的に 95%以上に精製されており、精製バイオメタンのメタン濃度が変動することはなかった。

表 2-2 原料バイオガス メタン濃度

メタン濃度 実証期間	原料バイオガス メタン濃度 (vol%)		
	最低	平均	最高
2022 冬季実証	39.1	54.4	76.2
2023 夏季実証	53.1	60.6	70.7
2023 冬季実証	52.1	60.6	70.8

2024 夏季実証	51.6	61.2	69.6
-----------	------	------	------

2023 年夏季実証において精製バイオメタンのメタン濃度については、夏季実証の最低値が 89.3vol%となっているが、これは稼働開始時の一時的な値であり、直後にメタン濃度が 95vol%まで回復していることを確認済みである。

表 2-3 精製バイオメタン メタン濃度

実証期間	精製バイオメタン メタン濃度(vol%)		
	最低	平均	最高
2022 冬季実証	94.4	97.6	100.0
2023 夏季実証	89.3	96.9	100.0
2023 冬季実証	96.9	99.9	100.0
2024 夏季実証	94.3	98.2	100.0

実証期間を通じて、夏季実証より冬季実証の方が平均の精製後メタン濃度が高くなる傾向があり、これは季節的な要因（外気温等）によるものと考えられる。

(2) 製品ガスの成分について

実証施設で製造したガスについて、ガス組成や不純物を確認するために成分分析を行い、発熱量についても試算を行った。結果は表 2-4 の通りである。

表 2-4 製品ガス分析結果⁸

分析項目	単位	製品ガス (13A 相当)	精製バイオメタン (LP ガス添加なし)
メタン	vol%	90.24	98.80
プロパン	vol%	7.40	0.39
イソブタン	vol%	0.05	<0.01
ブタン	vol%	0.01	<0.01
エタン	vol%	0.20	<0.01
窒素	vol%	0.31	0.03
酸素	vol%	0.03	0.03
二酸化炭素	vol%	1.76	0.73
水素	vol%	<0.01	0.01
水分	vol%	<0.1	<0.1

⁸ サンプリング日：製品ガス（13A 相当）2023 年 12 月 19 日、精製バイオメタン 2024 年 2 月 1 日

硫化水素	ppm	<0.05	<0.05
塩素	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
ホウ素	mg/Nm ³	<0.05	<0.05
ケイ素	mg/Nm ³	<0.05	<0.05
リン	mg/Nm ³	<0.05	<0.05
硫黄	mg/Nm ³	<1	<1
ヒ素	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
セレン	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
カドミウム	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
アンチモン	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
水銀	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
総発熱量	MJ/Nm ³	43.74	39.85

(3) 精製によるメタン回収率について

精製のプロセスで、温室効果の高いメタンを大気中に放出しないように⁹、本実証ではメタン回収率の高いハイブリッド精製を実証技術として採用した。メタンの回収率を確認した結果、2023年1月実証時より、2024年7月実証で回収率が低下していることが分かった(表 2-5)。これは、2.1.7 のトラブル事例に記載したリモネン等の吸着剤への付着による性能低下が原因であると考えられる。リモネントラブル後に、PSAの吸着剤能力が落ち、精製ガスのメタン濃度を維持するために吸着・脱着の切り替え頻度が増加、その結果オフガスが増加したことが回収率低下の要因となっている。原料ガスについての対策を講じることで、ハイブリッド精製ではバイオガス中の99%以上のメタンを回収することができると言える。

表 2-5 メタン回収率

実証時期	ロス率	回収率
2023年1月実証	0.938%	99%
2024年7月実証	2.582%	97%

2.1.3 精製バイオメタンの貯蔵実証

精製バイオメタンの貯蔵実証については、吸着貯蔵ホルダ(内容積5m³)の貯蔵量テストを実施した。実施内容と結果は以下の通りである。

⁹ バイオガスはカーボンニュートラルとされているが、気体としてのメタンはCO₂の28倍の温室効果があるとされており、大気放出量を抑制するためには回収率が重要となる。

(1) 実施期間及び実施内容

昇圧作業：2024年7月16～19日 圧力 0.4MPaG→0.64MPaG

ガス量測定：2024年7月20日 圧力 0.56MPaG→0.1MPaG

(2) 開始時及び終了時の圧力、温度、測定流量

表 2-6 開始時及び終了時の圧力、温度、測定流量

項目	開始時	終了時
時刻	8:22	15:15
吸着貯蔵ホルダ圧力	0.56MPaG	0.1MPaG
ホルダ内温度	28℃	20℃
設定流量	13.6Nm ³ /h	11.71Nm ³ /h

(3) 測定方法

吸着貯蔵ホルダ (T-201) 内に貯蔵されているバイオガスをマスフローメーター (MFM-BG301) にて測定した (図 2-2)。吸着貯蔵ホルダ圧力が 0.56MPaG から 0.1MPaG ($\Delta P = 0.46\text{MPa}$) に到達するまでのガス量測定を行った (測定時間：約 7h)。

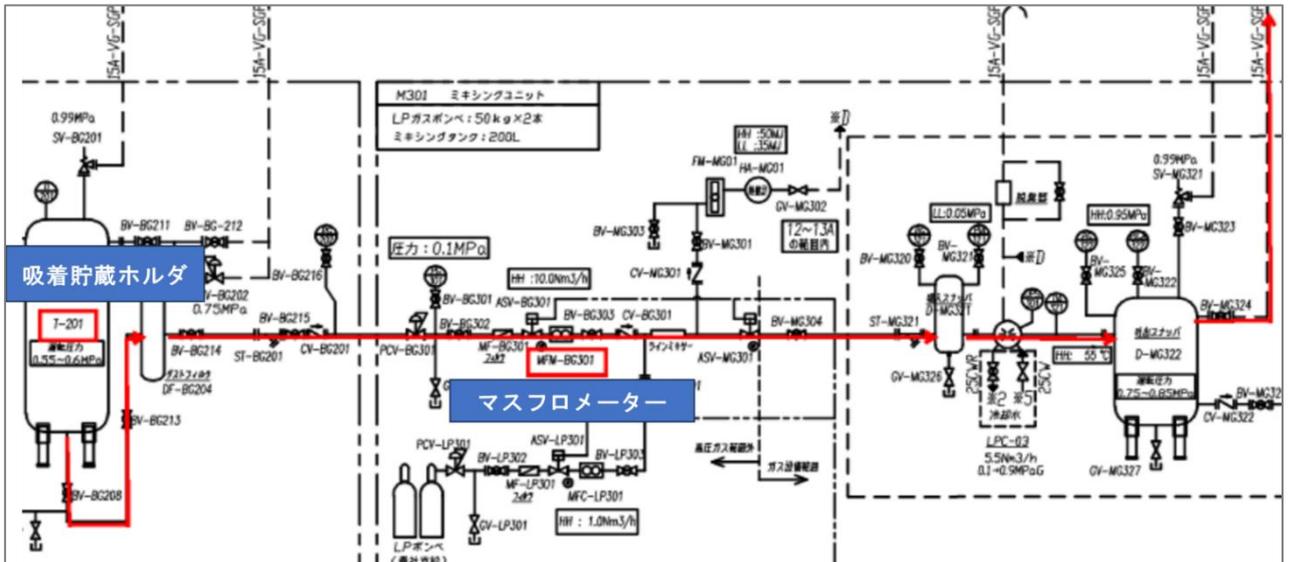


図 2-2 測定フロー図

(4) 測定結果

ガス量測定時の記録を表 2-7 及び図 2-3 に示す。

吸着貯蔵ホルダ差圧 $\Delta P = 0.46\text{MPa}$ のとき、貯蔵されているガス量は、 91Nm^3 であった。

表 2-7 測定記録

	時刻	ホルダ圧力(MPaG)	ガス流量(Nm ³)	積算ガス量(Nm ³)
測定前	8:13	0.56	0.00	0
測定開始	8:22	0.56	13.71	0
	8:52	0.51	13.52	8
	9:22	0.46	13.44	14
	9:51	0.42	13.60	21
	10:23	0.38	13.78	28
	10:56	0.34	12.47	35
	11:27	0.30	12.19	42
	11:52	0.27	12.29	47
	12:23	0.24	12.32	53
	12:53	0.21	12.29	59
	13:23	0.19	12.15	66
	13:56	0.16	12.71	72
	14:21	0.14	12.65	78
	14:54	0.12	12.27	85
測定終了	15:15	0.10	11.71	91

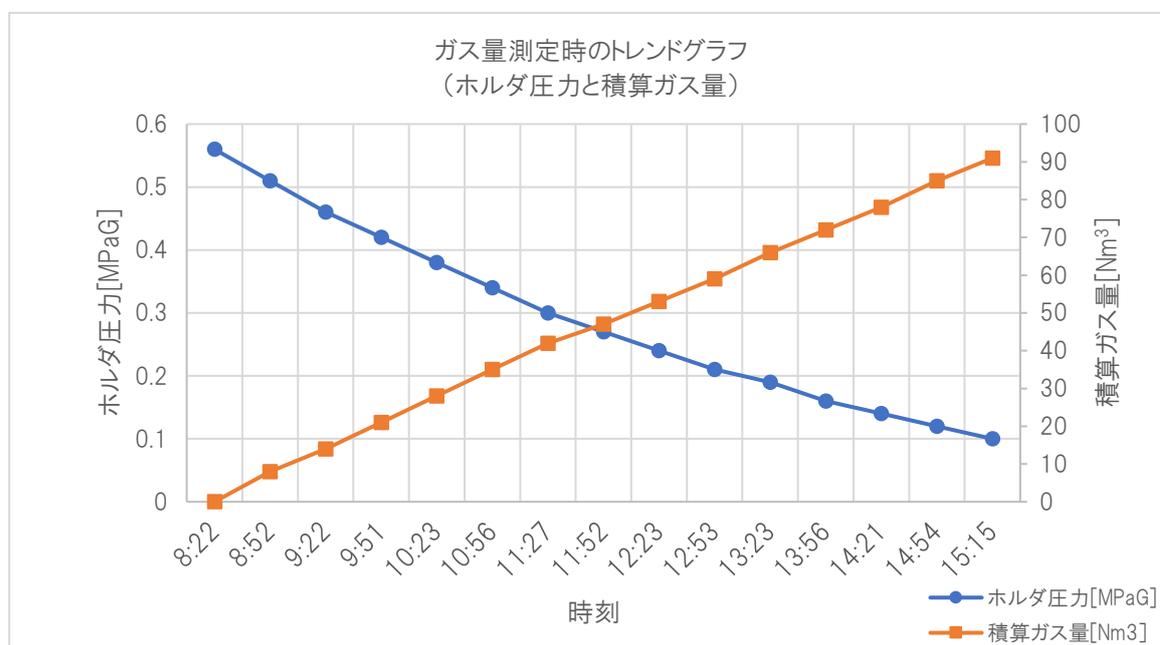


図 2-3 ガス量測定時のトレンドグラフ

(5) 考察

吸着貯蔵ホルダ（ホルダ内容積 5m^3 ）の貯蔵量（設計値）は、 $0.05\text{MPaG}\sim 0.7\text{MPaG}$ （ $\Delta P=0.65\text{MPa}$ ）のとき 100Nm^3 である。今回の測定では、上記結果の通り $0.1\text{MPaG}\sim 0.56\text{MPaG}$ （ $\Delta P=0.46\text{MPa}$ ）のとき 91Nm^3 貯蔵可能ということが確認され、ホルダ差圧比率では、設計値よりも実ガス測定値の方が多く貯蔵されていた。

また、ボイル＝シャルルの法則から、吸着貯蔵ホルダの貯蔵前後の差圧を ΔP 、ホルダ内容積を V 、大気圧を P_{atm} 、貯蔵量を標準状態に換算した場合の体積を V' とすると、 $\Delta P \times V = P_{\text{atm}} \times V'$ 、すなわち $V' = V \times \Delta P / P_{\text{atm}}$ となる。したがって、内容積 5m^3 、差圧 $\Delta P = 0.46\text{MPa}$ の場合、通常ホルダの貯蔵量 $V' = V \times \Delta P / P_{\text{atm}} = 5\text{m}^3 \times 0.46\text{MPa} / 0.10\text{MPa} \approx 23\text{Nm}^3$ となる。

つまり、吸着貯蔵ホルダでは通常ホルダ（吸着剤を充填していないホルダで、同じ差圧まで運転可能と仮定した場合）と比べて、 $91\text{Nm}^3 \div 23\text{Nm}^3 \approx 4$ 倍、すなわち、約 4 倍貯蔵可能ということが判明した。差圧 0.65MPa の運転では、 $91 \times 0.65 / 0.46 \approx 128\text{Nm}^3$ まで貯蔵可能となり、常圧時と比較して約 25 倍の貯蔵が可能であることが示された。バイオガスを常圧で貯蔵するケースと比較すると、精製バイオメタンは CO_2 を取り除いてあるため、同じエネルギー量でも体積が約 60% 程度になる。これを、吸着剤を使用し低圧で貯蔵することで、常圧時のバイオガスの 40 倍以上のエネルギー密度での貯蔵が可能になることが示された。

2.1.4 バイオガスの充填実証

バイオガスの充填については、実証開始後に数回充填速度の調整を実施した。調整により充填速度を遅くする¹⁰ことで燃料タンク内の急激な温度・圧力の上昇を抑え、なるべく多くの燃料を充填可能にした。今年度の実証では充填に関しての変更は行っておらず、問題も生じていない。

2.1.5 生ごみ収集車（CNG 車）の走行実証

(1) 走行実証の実施状況

走行実証の計画及び実施状況は表 2-8 の通りである。2022 年度冬季及び 2023 年度夏季には LP ガス添加率 9% の製品ガス（都市ガス 13A 相当）で走行実証を実施し、走行に問題がないことを確認した。2023 年度より CO_2 排出の少ない燃料として LP ガス添加率を 2% に引き下げた製品ガス（都市ガス 12A 相当）で実証を実施した。走行実証については当初目標の通算 80 回以上に対し、101 回の実証を実施した。

¹⁰ 実証開始当初の充填所要時間は約 3 分であったが、現在の充填所要時間は約 6 分である。

表 2-8 走行実証の実施状況

期間	LP ガス添加率	備考
2022/12/5～2023/2/21	9%	(冬季実証)
2023/6/19～2023/8/11		(夏季実証)
2023/11/6～2023/12/28	2%	(冬季実証)
2024/6/7～2024/7/12		(夏季実証)

(2) LP ガス添加率 9%の製品ガスでの走行実証

2022 年度の冬季走行実証で、燃料タンクの圧力表示が製品ガス充填後から翌朝までに減ることが確認されており、CNG 車の特徴としてタンク内温度や外気温が燃料計の表示に大きな影響があることが分かった。2022 年度実施の冬季実証と 2023 年度実施の夏季実証での比較でも、気温等の影響により圧力計の表示等に大きな差があった。

2022 年度の冬季実証と 2023 年度の夏季実証は、同じ都市ガス 13A 相当の製品ガス (LP ガス添加率 9%) を使用しており、1 日当たりの走行距離にも大きな差はない。それにも関わらず、収集作業後、充填前の圧力が夏季実証において顕著に低いのは温度の影響であると考えられる。つまり冬季に比べて夏季は同じゲージ圧まで充填をしても実際に充填できているガス量が少ないと言える。但し、走行においては特に問題等は生じていない。圧力計の表示が温度の影響で増減することを、CNG 車の特性として把握しておくことが必要である。

(3) LP ガス添加率 2%の製品ガスでの走行実証

LP ガス添加率を 2%に引き下げての走行実証では、燃料の熱量が低くなっているが、ドライバーによると添加率 9%での走行実証 (全期間) 及び添加率 2%への引き下げ後の冬季実証いずれも実走に影響はなく、添加率の引き下げによる影響は感じないとのことであった。なお、2024 年度夏季走行実証よりドライバーが変更になったことにより、走行時間・アイドリング時間ともに延び、また他に充填可能なステーションがないことから充填を 2 回行うようになった。LP ガスの添加率引き下げによる燃費等への影響については次項に記載した。

(4) 走行実証による燃費試算

走行実証の記録とガス組成から、燃費の試算を行った。LP ガスの添加率を 9%から 2%に引き下げたことにより熱量が 7%程度低下しており、対象走行期間中の平均燃費もほぼ同じ比率で低下していることが明らかになった。これは実走燃費であり、ごみステーションでの停止、積み込み中のアイドリング、バケツ積載等により一般的なトラック利用よりも燃費は低いと考えられる。ステーションへの停止をせずに走行実証した記録¹¹で試算をすると 3.6km/Nm³の燃費になっており、約 30%程度の差があった。

¹¹ 2023 年 2 月 4 日実施

本実証に利用した車両は燃料ポンベの容量が 184L (約 36.8Nm³) であり、全量を使い切った場合の走行距離は 100km 前後となる。いすゞ自動車へのヒアリングによると 1 回充填当たりの走行距離は 180~220km 程度ということであったため、ごみの積み込みによるアイドリング時間が長く、ステーションごとに停止・始動を繰り返す走行により実走燃費が低くなっていると考えられる。

表 2-9 ガス組成及び熱量

ガス採取日 混合比率・成分	2023/12/19	2024/2/1	2024/2/1
LPG 混合比率(vol) 精製ガス:LPG	100:9	100:2(試算値)	LPG 添加なし
CH ₄ (メタン)	90.240%	96.898%	98.800%
C ₃ H ₈ (プロパン)	7.400%	1.948%	0.390%
i-C ₄ H ₁₀ (イソブタン)	0.050%	0.034%	0.030%
n-C ₄ H ₁₀ (ノルマルブタン)	0.010%	0.010%	0.010%
C ₂ H ₆ (エタン)	0.200%	0.044%	0.000%
H ₂ O(水分)	0.000%	0.000%	0.000%
CO ₂ (二酸化炭素)	1.760%	0.959%	0.730%
N ₂ (窒素)	0.310%	0.092%	0.030%
O ₂ (酸素)	0.030%	0.030%	0.030%
熱量 MJ/Nm ³	43.5	40.6	39.8
対象走行期間中の平均燃費	2.8km/Nm ³	2.6km/Nm ³	実走なし

2.1.6 精製・貯蔵・充填及び車両走行実証のまとめ

バイオガスの精製・貯蔵・充填及び車両走行において、本実証で達成した事項や明らかになった事項を以下にまとめる。

- ・ 原料バイオガスのメタン濃度に関わらず、ハイブリッド精製により安定的に 95vol% 以上のメタン濃度の精製バイオメタンを製造可能であること。
- ・ 精製バイオメタンと LP ガスを体積比 100 : 9 の割合で混合した製品ガスは、都市ガス 13A と同等の品質であり、CNG 車の走行用燃料として利用可能ということ。
- ・ 精製バイオメタンと LP ガスを体積比 100 : 2 とした製品ガスは都市ガス 12A 相当の製品ガスと同等の品質であり、CNG 車の走行用燃料として利用可能ということ。

- ・ LP ガスを添加しない精製バイオメタンでのエンジン性能試験の結果、排ガスは規制値内であり、公道の走行は可能であること。但し、13A 相当のガスと比較して出力が最大 4%程度低いこと。
- ・ 熱量調整で添加する LP ガスの量は燃費に影響があり、おおよそ熱量の低下率に応じて燃費も低下すると考えられること。

2.1.7 施設・設備のメンテナンス及びトラブル対応について

今年度の実証に関しては計画通り定期メンテナンスを実施した。実証期間を通じて、以下のようなトラブルの事例があり、バイオガスの精製利用を実施する場合には注意が必要である。

(1) 原料バイオガスの成分由来のトラブル

昨年度の報告書に記載済みであるが、原料バイオガスにリモネンが含まれており、前処理工程で除去しきれず精製装置内に付着したことによりガス精製の性能低下が起きるトラブルが発生した。不純物を除去する活性炭フィルタの交換頻度を早める対策を行い解決済みではあるが、精製装置まで達する汚染が発生するとその影響は大きい。設備の設計段階でバイオガスの組成分析を詳細に実施し、想定外の成分が含まれている場合は、設計段階で除去対策を組み込み機器の構成をする必要がある。本実証開始前にもバイオガスの採取・分析を 4 回実施していたが分析の対象成分が水素、酸素、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素、メタン、及び硫化水素であり、その他成分の分析は未実施であった。リモネンは既存実証施設の臭気対策として噴霧していた脱臭剤由来である可能性が高い。特に原料バイオガス中に油分等が含まれてないか確認が必要である。

(2) 外気温によるトラブル

冬季に外気温の低下による機器類のトラブルがいくつか発生した。圧縮機の潤滑油粘度が気温低下の影響で上がり、起動時の突入電流がインバータの設定値を超え、インバータ異常が発生する事例や、パッキンの硬化によるオイル漏れ等の事例である。設置場所の気温が機器の操作保障温度を下回る可能性がある場合は、何らかの形で保温対策を実施するか、屋内への設置を検討する、あるいは機器の変更を検討する等の対策が必要である。

(3) 充填速度の調整

製品ガスの充填にあたり、充填スピードが速すぎると充填可能な量が少なくなること、充填ノズルの結露・凍結が起きること等が明らかになった。車両側のタンク内圧力が急激に上昇することで温度も上昇しガス圧が上がるためであり、タンク内の温度が時間経過とともに低下するとガス圧も下がる。また、充填ノズルの凍結については、供給側のガスタンクが減圧することで急速に温度が下がることが原因である。対策として 3 分程度だった充填時

間を 5～6 分かけて充填するように設定を変更した。184L (約 36.8Nm³) の燃料ポンベ容量に対しては 5～6 分かけて充填することで充填時のトラブルはおおむね解決できた。調整後でも EV 等と比較するとかなり短い時間での充填が可能であり、これは CNG 車の利点の一つと言える。

2.2 経済性評価及び二酸化炭素排出量削減効果

本事業では、バイオガスの精製及び精製バイオメタンの利用について、技術的な課題の有無や実用性の検証、将来的な普及のための戦略作りを目指している。そのためには、技術の確立や実用性の評価だけでなく、温室効果ガス削減効果や経済性の評価が必要となる。

昨年度は人口約 10 万人の自治体を普及規模として想定し、複数ケースの初期費用・ランニングコスト及び CO₂ 排出量の評価を行った。今年度は設定条件を変更し、CO₂ 排出量の再評価を行うとともに、短期コストだけでなく長期コストも算出し、さらにより小規模な自治体も想定した試算を行った。

2.2.1 普及規模及び評価ケース

普及規模設定の前提条件として、日量 100t の焼却施設を必要とする人口規模の自治体を想定し（以下、「想定自治体 A」とする。）、一般廃棄物処理施設を新たに建設するものとして試算を行った。より小規模な自治体については、人口を想定自治体 A の 1/2 として設定するものとした（以下、「想定自治体 B」とする。）。

(1) 想定自治体の人口規模

想定自治体 A の人口規模を算出するため、まず日本の廃棄物処理実績から 1 人 1 日当たりのごみ排出量を算出し（表 2-10）、直接焼却ごみ排出量から想定自治体 A の人口規模を算出した（表 2-11）¹²。

表 2-10 ごみ量試算条件¹³

総人口	千人	126,740
ごみ総排出量	千 t/年	41,669
計画収集量	千 t/年	36,160
直接搬入量	千 t/年	3,866
集団回収量	千 t/年	1,643
(排出形態)		
生活系ごみ排出量	千 t/年	30,016
内 家庭排出ごみ	千 t/年	24,040
事業系ごみ排出量	千 t/年	11,653
(処理状況)		

¹² 「2.2 経済性評価及び二酸化炭素排出量削減効果」の各試算においては、端数処理の関係で内訳と合計等が一致しない場合がある。

¹³ 日本の廃棄物処理（令和 2 年度版） 環境省 2022 年 3 月

https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r2/data/disposal.pdf

第 1 回「生ごみ等 3R・処理に関する検討会」配布資料「生ごみの分類と発生・処理状況」 環境省 2005 年 9 月 29 日 https://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/01/mat03.pdf

内 直接焼却量	千 t/年	31,872
直接焼却率		76.5%
一般廃棄物中の生活系生ごみ割合		23.7%
一般廃棄物中の事業系生ごみ割合		10.5%
生活系生ごみ量	千 t/年	9,876
事業系生ごみ量	千 t/年	4,375
一般廃棄物中の生ごみ量合計	千 t/年	14,251
1 人 1 日当たりの総ごみ排出量	kg/人・日	0.901
1 人 1 日当たりの直接焼却ごみ排出量	kg/人・日	0.689
1 人 1 日当たりの生ごみ排出量(生活系+事業系)	kg/人・日	0.308

表 2-11 焼却施設 100t/日の自治体人口規模

焼却施設規模	t/日	100
実稼働率		0.77
調整稼働率		0.96
余裕率		10%
想定焼却ごみ日量	t/日	66.9
人口規模	人	97,172

以上より想定自治体 A の人口規模を 97,000 人、想定自治体 B の人口規模を 48,500 人と設定した。

(2) 発生バイオガス量

想定自治体におけるごみ種別排出量、し尿・浄化槽汚泥量を試算し、生ごみ及びし尿・浄化槽汚泥からの発生バイオガス量を算出した(表 2-12)。以降、生ごみを分別していない可燃ごみを「未分別可燃ごみ」、生ごみを分別し残った可燃ごみを「分別後可燃ごみ」と記載する。

表 2-12 発生バイオガス量

想定自治体		A	B
想定人口	人	97,000	48,500
【生ごみ】			
焼却ごみ(未分別可燃ごみ)量	t/日	66.8	33.4
内 分別後可燃ごみ排出量	t/日	36.9	18.5
内 生ごみ排出量	t/日	29.9	14.9

ガス発生量単位 ¹⁴	Nm ³ /t	150	150
発生バイオガス量	Nm ³ /日	4,482	2,241
【し尿・浄化槽汚泥】			
し尿			
処理人口普及率 ¹⁵	%	15.2%	21.7%
処理人口	人	14,744	10,525
1人1日当たり排出量 ¹⁶	L/人・日	2.71	2.71
し尿排出量	kL/日	40.0	28.5
浄化槽汚泥			
処理人口普及率 ¹⁵	%	20.1%	28.1%
処理人口	人	19,497	13,629
1人1日当たり排出量 ¹⁶	L/人・日	1.66	1.66
浄化槽汚泥排出量	kL/日	32.4	22.6
し尿・浄化槽汚泥合計量	kL/日	72.3	51.1
し尿・浄化槽汚泥合計量 ¹⁷	t/日	73.1	51.7
ガス発生量単位 ¹⁴	Nm ³ /t	14	14
発生バイオガス量	Nm ³ /日	1,024	724
【合計】			
発生バイオガス量合計(日)	Nm ³ /日	5,506	2,965

想定自治体Bでは生ごみはAの半量となるが、下水道普及率が低い想定となることから、し尿・浄化槽汚泥量はAの約71%の量となった。生ごみ及びし尿・浄化槽汚泥を全量メタン発酵処理した場合、発生バイオガス日量は、想定自治体Aで5,506Nm³、自治体Bで約54%の2,965Nm³と試算された¹⁸。

¹⁴ 廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル（メタンガス化施設導入に向けた検討簡易マニュアル） 環境省 2017年3月

https://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/data/manual_r_kan-i.pdf

なおガス発生量単位は原料となる生ごみ等の含水率やごみ組成によることから、実際は各自治体の原料による検証が必要である。

¹⁵ 下水道事業についての現状と課題 総務省 2018年2月

https://www.soumu.go.jp/main_content/000536241.pdf

P4の資料を基に算出。浄化槽汚泥は「浄化槽・集落排水・コミプラ」、し尿は「汲み取り・その他」と想定した。

¹⁶ 日本の廃棄物処理（令和2年度版） 環境省 2022年3月

https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r2/data/disposal.pdf

¹⁷ し尿の比重を1.02、浄化槽汚泥の比重を1.00とする。

¹⁸ 本試算では生ごみの分別協力率は設定していないが、実際のケースでは各自治体の実状を踏まえ協力率の設定を検討する必要がある。

(3) 評価ケース

評価ケースとフロー図

評価ケースの概要を表 2-13 に、各処理システムのフロー図を図 2-4～図 2-6 に示す。評価は想定自治体 A・B、それぞれ処理システム①～③の合計 6 ケースで行った。

表 2-13 評価ケースの概要

項目	内容
想定自治体 (想定人口)	A (97,000 人) B (48,500 人)
処理システム	①従来处理 (〔①従来处理〕と表記) <ul style="list-style-type: none"> ・未分別可燃ごみをディーゼルパッカー車で収集 ⇒ 焼却施設で焼却、発電付き焼却施設ではごみ発電(想定自治体 A〔①従来处理〕で想定) ・し尿・浄化槽汚泥をバキュームカーで収集 ⇒ し尿処理施設で処理 ・発電電力は場内利用、余った電力はシステム外に供給(電力利用)
	②現状処理 (〔②メタン・発電〕と表記) <ul style="list-style-type: none"> ・生ごみ分別後の可燃ごみをディーゼルパッカー車で収集 ⇒ 焼却施設で焼却 ・生ごみを EVトラック、し尿・浄化槽汚泥をバキュームカーで収集 ⇒ メタン発酵処理施設でバイオガス化しガス発電利用 ・発電電力は評価範囲の車両(生ごみ収集用 EVトラック)で利用、余った電力はシステム外に供給(電力利用) ・メタン発酵消化液はシステム外で液肥利用
	③提案システム (〔③メタン・ガス精製〕と表記) <ul style="list-style-type: none"> ・生ごみ分別後の可燃ごみをディーゼルパッカー車で収集 ⇒ 焼却施設で焼却 ・生ごみを CNGトラック、し尿・浄化槽汚泥をバキュームカーで収集 ⇒ メタン発酵処理施設でバイオガス化し精製・ガス利用 ・精製バイオメタンは評価範囲の車両(生ごみ収集用 CNGトラック)で利用、余ったガスはシステム外に供給(都市ガスまたは軽油代替利用) ・メタン発酵消化液はシステム外で液肥利用

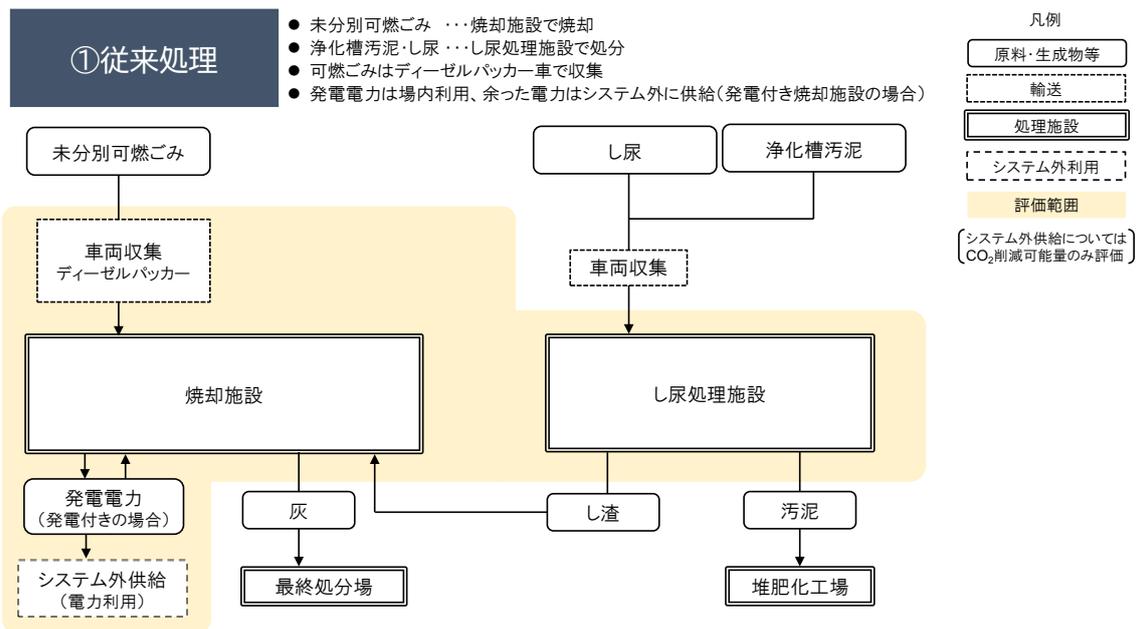


図 2-4 ①従来処理 フロー図

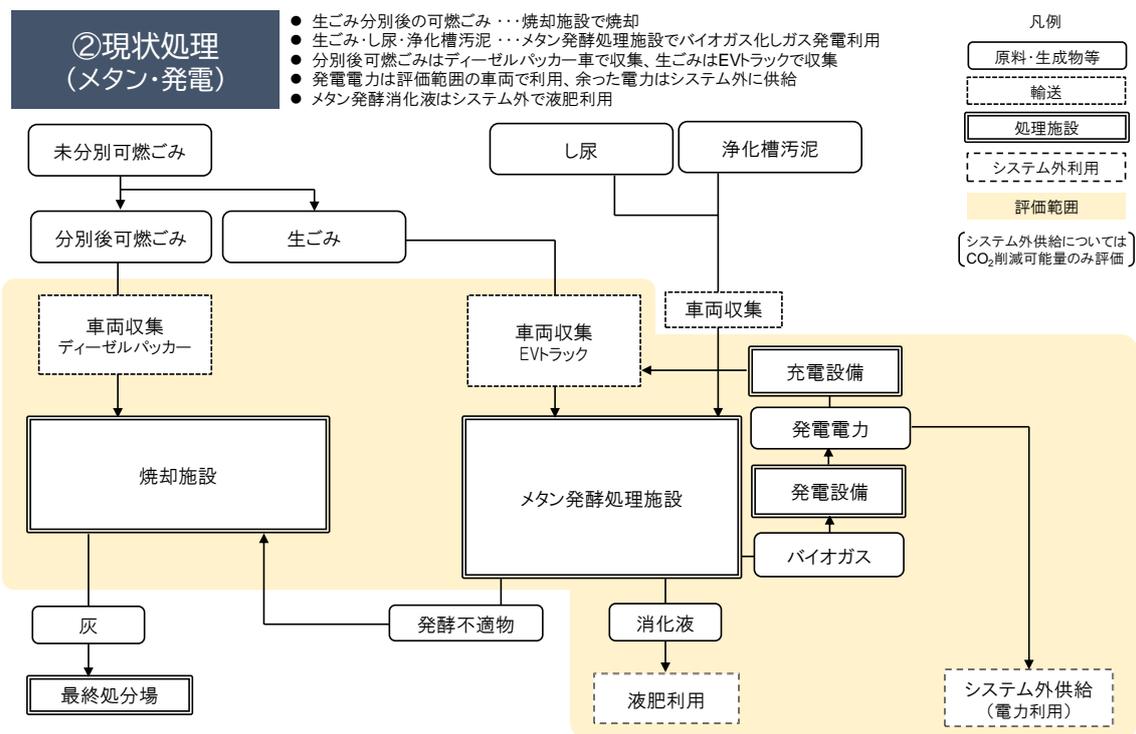


図 2-5 ②現状処理 (メタン・発電) フロー図

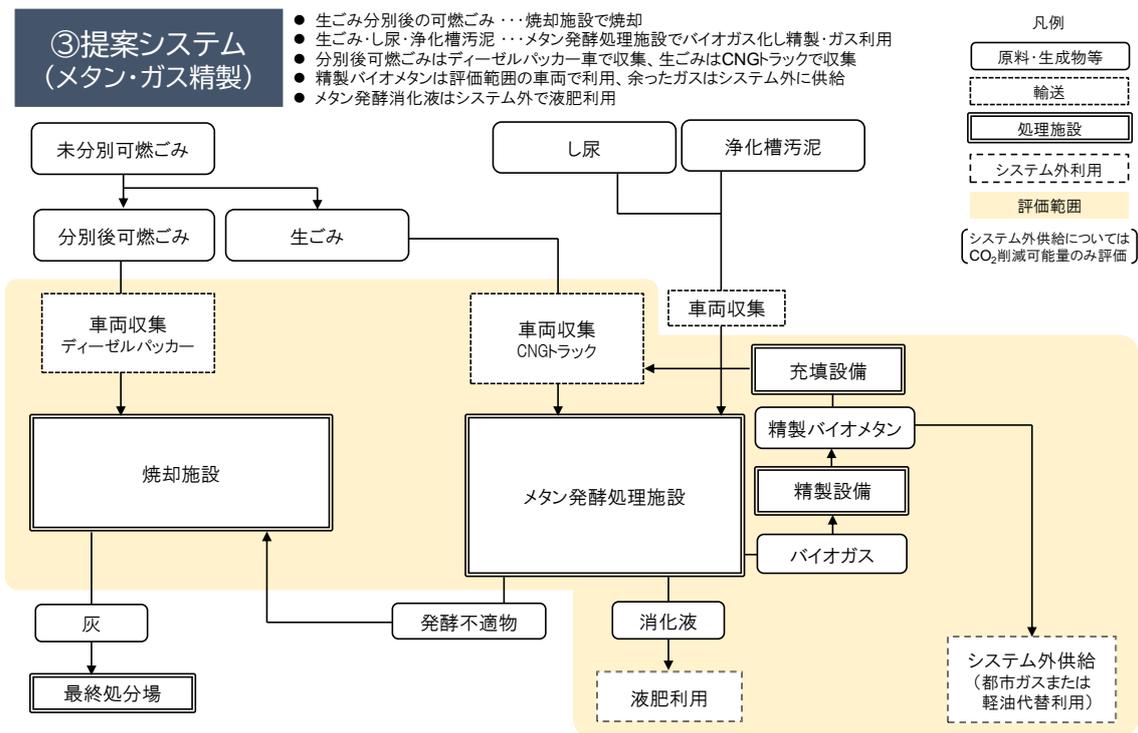


図 2-6 ③提案システム（メタン・ガス精製）フロー図

評価範囲は以下の条件の通り設定した。

- ・ 各処理施設は試算上同一敷地内にあるものとし、施設間輸送については考慮しない。
- ・ し尿・浄化槽汚泥の収集車両（バキュームカー）は、運搬するし尿・浄化槽汚泥量が各自治体で同じであることから評価範囲に含めない。
- ・ システム外供給については、供給によるCO₂削減可能量を評価の対象とし、供給に必要な施設設備等に係るコスト・CO₂排出量、エネルギー売却益は利用用途や供給方法により異なるため考慮しない。

2023 年度報告書からの主な変更点

評価ケースの設定条件について、昨年度報告書からの主な変更点は以下の通りである。

【主な変更点】

- ① 小規模自治体の設定と評価の実施
- ② CO₂排出量算定方法・排出係数の更新
- ③ 焼却施設の条件見直し（焼却施設の発電量・消費電力量の見直し、余剰電力のCO₂削減効果の算出、一般廃棄物中のプラスチック・合成繊維焼却量の見直し）
- ④ LPガスを添加しない精製バイオメタンの利用及び燃費の見直し
- ⑤ メタン発酵消化液の液肥利用効果の算出

①については、(1) で試算した通り想定自治体 B (48,500 人) を設定し評価を実施した。

②については、本試算では環境省温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度に従い CO₂ 排出量の算定を行っており、2023 年 12 月に算定対象や排出係数等の見直しが行われた¹⁹ことから更新を行った。電力の排出係数は 2023 年度算定用代替値 (0.000429tCO₂/kWh、以下「2023 代替値」とする。) を用いた。また、参考として将来的な電源構成から想定される 2030 年度の排出係数 (0.000250tCO₂/kWh、以下「2030 想定値」とする²⁰。) に置き換えた場合の結果を算出し比較を行った。

③の焼却施設での発電量・消費電力量については、2018 年度以降に供用開始された焼却施設から再試算を行い、余剰電力をシステム外供給するものとして CO₂ 削減効果を算出した。また一般廃棄物中のプラスチック・合成繊維量の見直しを行った。

④については、昨年度実証では付臭及び熱量調整の目的から、精製バイオメタンに LP ガスを体積比で 9%または 2%添加した製品ガスで走行実証及び試算を行ったが、今年度はエンジン性能試験の結果から LP ガスを添加しない 100%精製バイオメタンを利用するものとして試算を行った。

⑤については、メタン発酵処理の残渣である消化液をシステム外の農地で液肥利用する場合の CO₂ 削減可能量について試算を行った。

2.2.2 試算結果

本項では、まず (1) で試算結果の総括を示したのち、(2) 施設規模・エネルギー量等 (3) コスト (4) CO₂ 排出量 でそれぞれの試算結果についてまとめた表を示す。

試算の詳細については参考資料として「3.2 コスト・CO₂ 排出量の試算詳細」に記載した。また各システムのフロー図に施設規模や CO₂ 排出量等の試算結果を記載した図を「3.3 フロー図 (数値入り)」に掲載した。

(1) 試算結果の総括

試算結果の総括として、各ケースのコスト及び CO₂ 排出量をとりまとめた一覧表を表 2-14 に示す。CO₂ 排出量については電力の排出係数を 2030 想定値とした場合の試算結果も合わせて示す。

¹⁹ 環境省 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (令和 5 年 12 月 12 日更新)

<https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/calc.html>

²⁰ 令和 6 年度環境配慮契約法基本方針検討会電力専門委員会 (第 2 回) 資料 2 環境省 2024 年 9 月

<https://www.env.go.jp/content/000251514.pdf>

表 2-14 コスト・CO₂ 排出量 試算結果まとめ

想定自治体(想定人口)			A(97,000人)				B(48,500人)			
処理システム			①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製		①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製	
システム外供給時のエネルギー利用用途			電力	電力	都市ガス	軽油	-	電力	都市ガス	軽油
コスト	初期費用	百万円	15,334	9,086	8,677		8,418	6,100	6,009	
	年間運転維持費	百万円/年	833	726	772		514	442	475	
	長期コスト(20年間)	百万円/20年	32,318	24,769	24,443		18,854	15,566	15,679	
CO ₂ 排出量	2023代替値 ※1	tCO ₂ /年	10,780	10,703	10,692	9,985	7,322	5,311	5,360	4,980
	2030想定値 ※2	tCO ₂ /年	10,751	10,354	9,493	8,786	6,505	5,123	4,691	4,311

※1 2023 代替値…電力の排出係数を 2023 年度算定用代替値 0.000429tCO₂/kWh とした場合

※2 2030 想定値…将来の電源構成の想定より電力の排出係数を 0.000250tCO₂/kWh とした場合

コスト

各コストについてのグラフを図 2-7～図 2-9 に示す。結果の概要は以下の通りである。

- ・ 初期費用…想定自治体 A・B いずれも [③メタン・ガス精製] が最も低い。
- ・ 年間運転維持費…想定自治体 A・B いずれも [②メタン・発電] が低い。
- ・ 20 年間の長期コスト…想定自治体 A で [③メタン・ガス精製] が低く、B で [②メタン・発電] が低い。
- ・ いずれのコストも [①従来处理] が最も高い。

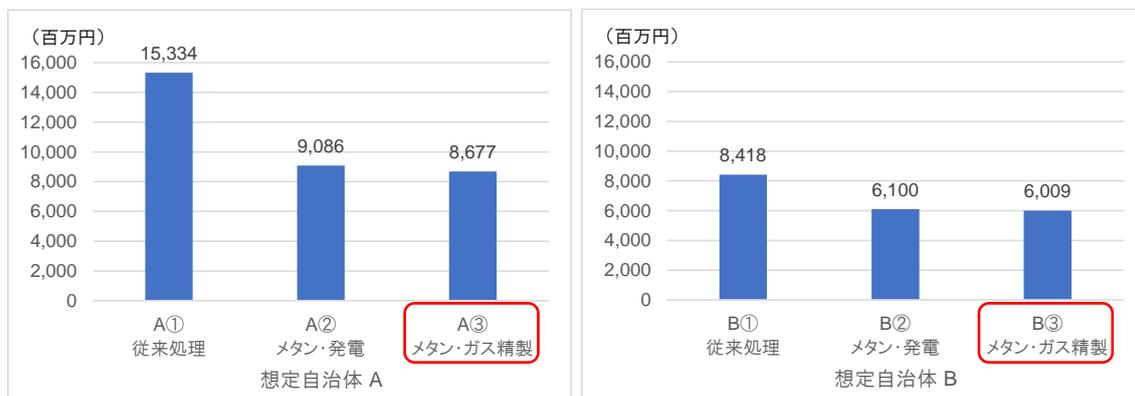


図 2-7 初期費用

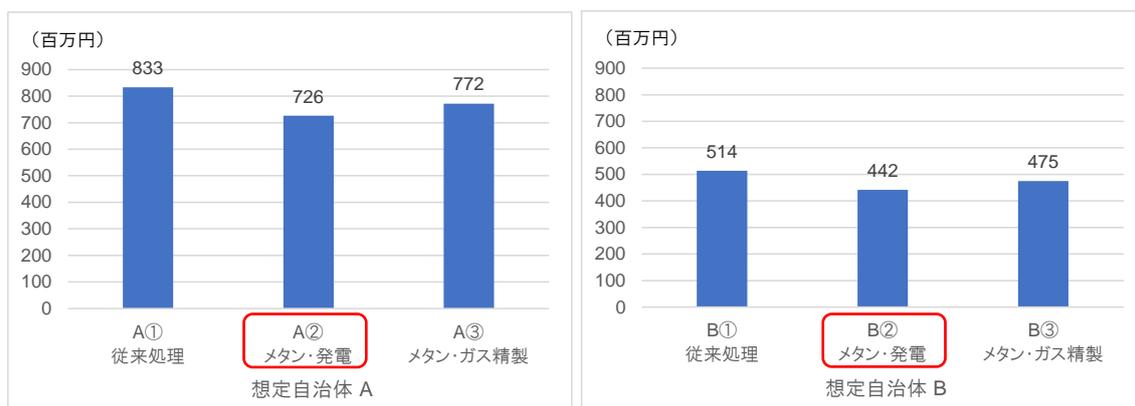


図 2-8 年間運転維持費

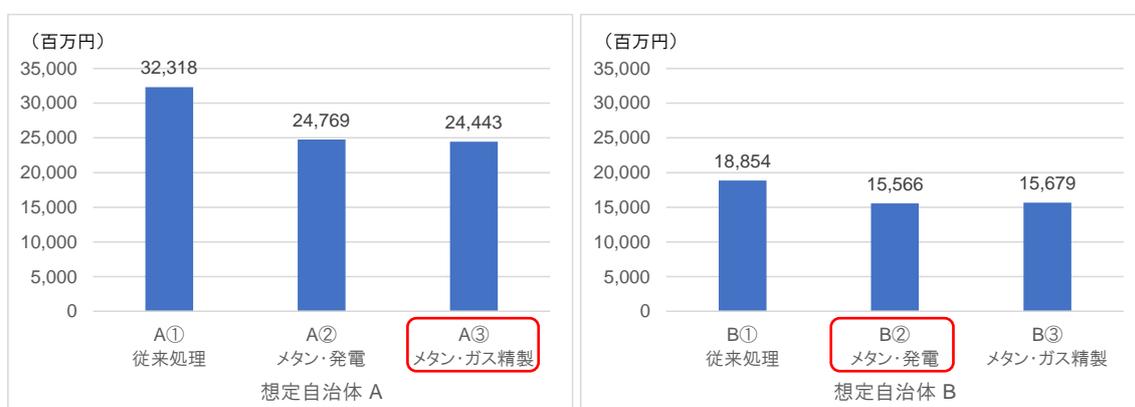


図 2-9 長期コスト (20年間)

メタン発酵処理施設を持つシステムの方が、従来处理システムよりもコストを抑えられる結果となった。バイオガスの発電利用とガス精製利用を比較すると、ガス精製は初期費用が安いが年間運転維持費は高い結果となった。長期コストでは 5 万人規模の自治体では発電利用が有利だが、10 万人規模ではガス精製利用が有利となった。

CO₂ 排出量 (2023 代替値)

CO₂ 排出量 (2023 代替値) についてのグラフを図 2-10 に示す。結果の概要は以下の通りである。

- ・ 想定自治体 A・B いずれも [①従来处理] で最も多い。
- ・ 想定自治体 A・B いずれも [③メタン・ガス精製] の軽油代替で最も少ない。
- ・ 都市ガス代替は、想定自治体 A では [②メタン・発電] より少ないが、B では多い。

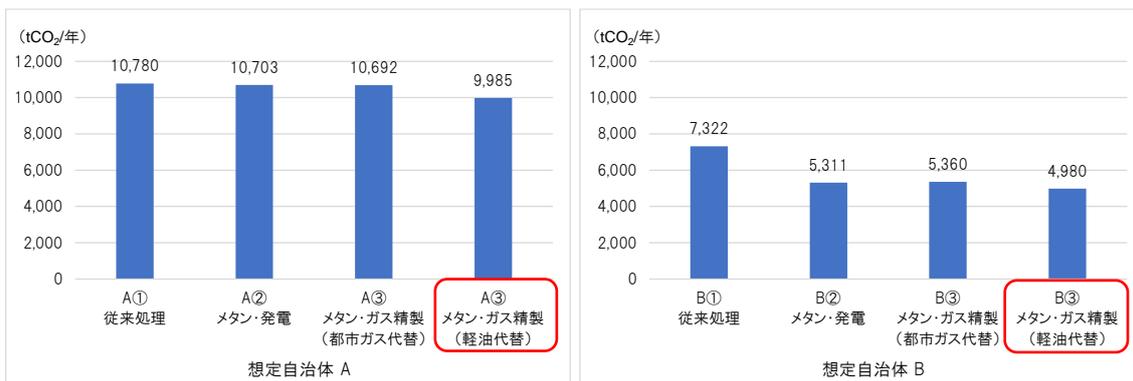


図 2-10 CO₂ 排出量

メタン発酵処理施設を持つシステムの方が、従来処理システムよりも CO₂ 排出量を抑えられる結果となった。バイオガスの発電利用とガス精製利用を比較すると、精製バイオメタンをより排出係数の高い燃料（軽油）の代替としてガス利用する方が、排出量を抑制可能という結果となった。

従来処理システムであっても発電付き焼却施設を持つ場合（想定自治体 A）は CO₂ 排出量が抑制でき、他システムとの排出量の差は最大で約 1.1 倍となるが、持たない場合（想定自治体 B）では約 1.5 倍となった。但し、発電付き焼却施設はコスト面で高額となることに留意が必要である。

将来的な電力排出係数での CO₂ 排出量（2030 想定値）との比較

電力の排出係数の変化を考慮した CO₂ 排出量のグラフを図 2-11 に示す。電力の排出係数が下がることによる CO₂ 排出削減量は [③メタン・ガス精製] で最大となり、想定自治体 A では年間 1,200tCO₂、B では 669tCO₂ の削減となった。

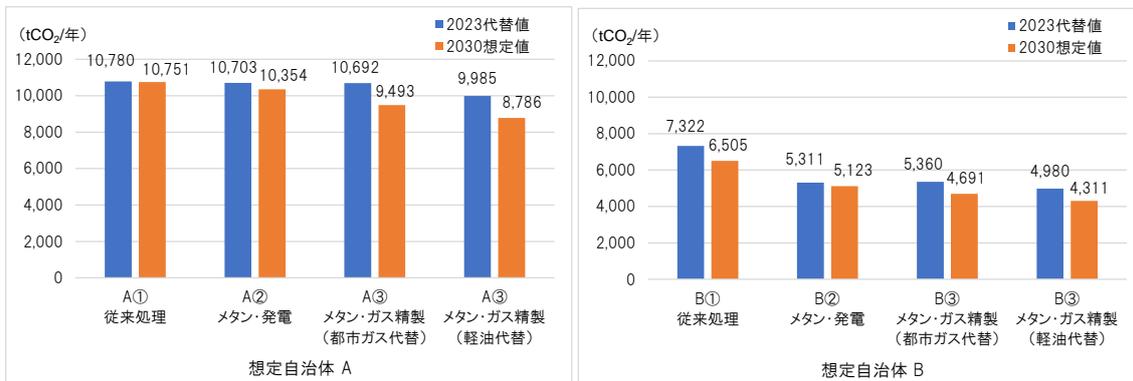


図 2-11 CO₂ 排出量の比較

電力の排出係数が下がった場合、購入電力の使用による CO₂ 排出量は低くなるが、発電電力による削減効果も小さくなるため、発電利用を行うケースでは排出量の差が小さい結果となった。

(2) 施設規模・エネルギー量等

各ケース別に施設規模・処理量・エネルギー生成及び利用量についてとりまとめた一覧表を表 2-15 に示す。

表 2-15 施設規模・処理量・エネルギー生成及び利用量まとめ

想定自治体(想定人口)		A(97,000人)			B(48,500人)		
		①従来 処理	②メタン・ 発電	③メタン・ ガス精製	①従来 処理	②メタン・ 発電	③メタン・ ガス精製
【施設規模・車両台数】							
焼却施設	t/日	100.0	56.0	56.0	50.0	28.0	28.0
し尿処理施設	kL/日	83.2	-	-	58.8	-	-
メタン発酵処理施設	t/日	-	123.1	123.1	-	79.6	79.6
可燃ごみ収集用パッカー車	台	24	14	14	12	7	7
生ごみ収集用トラック	台	-	11	11	-	6	6
【処理量(原料量)】							
未分別可燃ごみ	t/日	66.8	66.8	66.8	33.4	33.4	33.4
内 分別後可燃ごみ	t/日	-	36.9	36.9	-	18.5	18.5
内 生ごみ	t/日	-	29.9	29.9	-	14.9	14.9
し尿	kL/日	40.0	40.0	40.0	28.5	28.5	28.5
浄化槽汚泥	kL/日	32.4	32.4	32.4	22.6	22.6	22.6
【処理量(各施設)】							
焼却施設	t/日	66.8	36.9		33.4	18.5	
し尿処理施設	kL/日	72.3	-		51.1	-	
メタン発酵処理施設	t/日	-	103.0		-	66.7	
【エネルギー生成・利用量】							
ごみ発電量	kWh/日	22,522	-	-	-	-	-
内 場内利用量	kWh/日	17,977	-	-	-	-	-
内 システム外供給量	kWh/日	4,544	-	-	-	-	-
バイオガス発生量	Nm ³ /日	-	5,506	5,506	-	2,965	2,965
バイオガス発電量	kWh/日	-	10,800	-	-	6,000	-
内 車両利用量	kWh/日	-	505	-	-	275	-
内 システム外供給量	kWh/日	-	10,295	-	-	5,725	-
精製バイオメタン量	Nm ³ /日	-	-	3,304	-	-	1,779
内 車両利用量	Nm ³ /日	-	-	387	-	-	211
内 システム外供給量	Nm ³ /日	-	-	2,917	-	-	1,568

施設規模、処理量

焼却施設の施設規模は、生ごみを分別収集することで 1/2 程度に縮小となった。分別された生ごみはメタン発酵処理施設でし尿・浄化槽汚泥とともに処理されるが、想定自治体 B では A と比較して下水道普及率が低い設定であるためし尿・浄化槽汚泥量の割合が増え、メタン発酵処理施設の施設規模は約 65%となった。

ごみ発電

想定自治体 A [①従来处理] では、施設規模から焼却施設に発電設備を有する想定とした。1 日当たりの発電量 22,522kWh の内約 80%が場内利用され、システム外供給される余剰電力は 4,544kWh となった。

バイオガス発生量、エネルギー生成・利用量

想定自治体 A の 1 日当たりのバイオガス発生量 5,506Nm³ であり、 [②メタン・発電] ではバイオガス発電電力 10,800kWh の内約 5%がシステム内の車両で利用され、10,295kWh がシステム外供給される試算となった。 [③メタン・ガス精製] では精製バイオメタン 3,304Nm³ の内約 12%が車両で利用され、2,917Nm³ がシステム外供給される試算となった。

想定自治体 B ではバイオガス発生量、エネルギー生成量等は A のおよそ 54%となった。

(3) コスト

施設設備ごとの建設費・運転維持費等についてとりまとめた一覧表を表 2-16 に示す (コストの試算条件及び試算詳細については「3.2.1 施設・設備規模及びコスト試算」を参照)。また、初期費用・年間運転維持費・長期コストについてのグラフを図 2-12～図 2-14 に示す。

表 2-16 コストまとめ²¹

想定自治体(想定人口)		A(97,000人)			B(48,500人)			
処理システム		①従来 処理	②メタン・ 発電	③メタン・ ガス精製	①従来 処理	②メタン・ 発電	③メタン・ ガス精製	
生ごみ収集用トラック 燃料種別		-	EV	CNG	-	EV	CNG	
【初期費用】								
焼却施設	建設費	百万円	12,231	6,368	6,368	5,949	4,201	4,201
し尿処理施設	建設費	百万円	2,936	-	-	2,385	-	-
メタン発酵処理施設	建設費	百万円	-	1,850	1,449	-	1,425	1,116
ケース②設備	発電・充電設備 設備+工事費	百万円	-	599	-	-	332	-
ケース③設備	精製・貯蔵・充填設備 建設費	百万円	-	-	689	-	-	603
車両	可燃ごみ収集用パッカー車(ディーゼル) 購入費	百万円	167	97	97	83	49	49
	生ごみ収集用トラック(EV/CNG) 購入費	百万円	-	172	75	-	94	41
合計		百万円	15,334	9,086	8,677	8,418	6,100	6,009
【年間運転維持費】								
焼却施設	運転維持費(人件費・点検補修費・用役費等)	百万円/年	419	296	296	277	195	195
し尿処理施設	運転維持費(人件費・中間処理費等)	百万円/年	97	-	-	79	-	-
メタン発酵処理施設	運転維持費(費目詳細不明)	百万円/年	-	90	87	-	69	67
ケース②設備	発電・充電設備 運転維持費(維持管理費・電気代)	百万円/年	-	23	-	-	12	-
ケース③設備	精製・貯蔵・充填設備 運転維持費(メンテ・用役費)	百万円/年	-	-	71	-	-	48
車両	維持管理費(修繕費・保険料・車検代等)	百万円/年	12	11	11	6	6	6
	人件費	百万円/年	282	294	294	141	153	153
	燃料費(軽油)	百万円/年	23	13	13	11	7	7
合計		百万円/年	833	726	772	514	442	475
【長期コスト(20年間)】								
焼却施設	初期費用	百万円	12,231	6,368	6,368	5,949	4,201	4,201
	運転維持費(20年間)	百万円/20年	8,384	5,920	5,920	5,531	3,906	3,906
し尿処理施設	初期費用	百万円	2,936	-	-	2,385	-	-
	運転維持費(20年間)	百万円/20年	1,938	-	-	1,574	-	-
メタン発酵処理施設	初期費用	百万円	-	1,850	1,449	-	1,425	1,116
	運転維持費(20年間)	百万円/20年	-	1,799	1,739	-	1,385	1,340
ケース②設備	初期費用+設備更新費	百万円/20年	-	1,232	-	-	682	-
(発電・充電)	運転維持費(20年間)	百万円/20年	-	451	-	-	248	-
ケース③設備	初期費用	百万円	-	-	689	-	-	603
(精製・貯蔵・充填)	運転維持費(20年間)	百万円/20年	-	-	1,420	-	-	954
車両	初期費用+設備更新費	百万円/20年	500	807	516	250	427	268
	運転維持費(20年間)	百万円/20年	6,328	6,342	6,342	3,164	3,291	3,291
小計	初期費用+設備更新費	百万円/20年	15,667	10,257	9,021	8,584	6,735	6,188
	運転維持費(20年間)	百万円/20年	16,650	14,512	15,422	10,270	8,831	9,491
合計		百万円/20年	32,318	24,769	24,443	18,854	15,566	15,679

²¹ 交付金やシステム外供給の場合のエネルギー売却益等は考慮していない。またシステム外供給に係る施設設備の追加費用等は考慮していない。

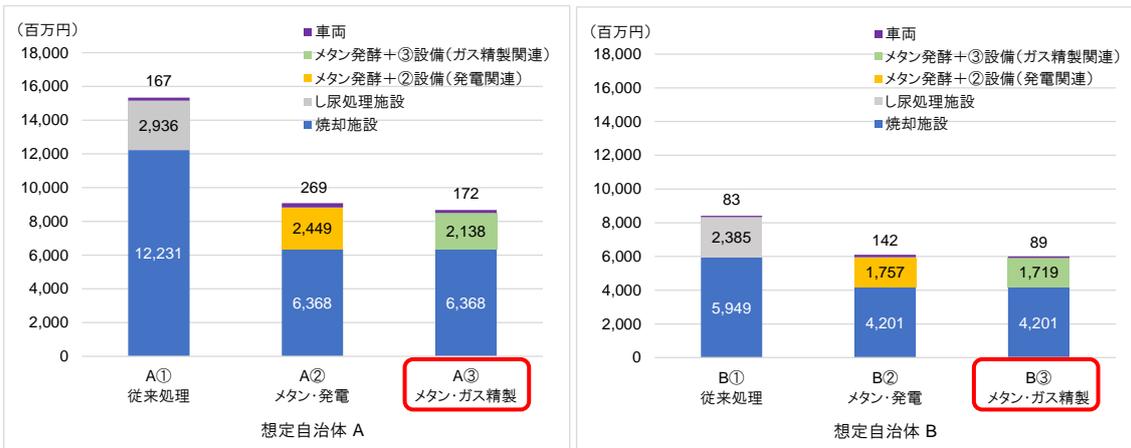


図 2-12 初期費用

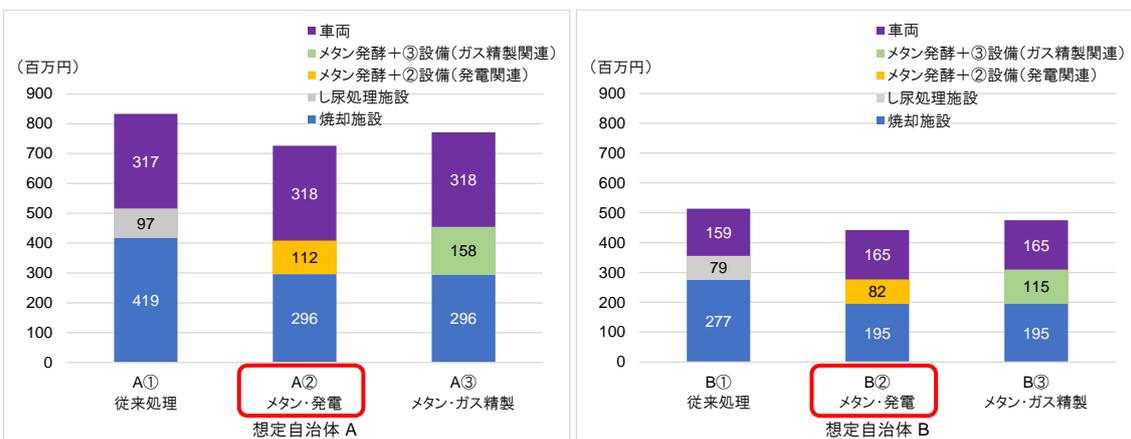


図 2-13 年間運転維持費

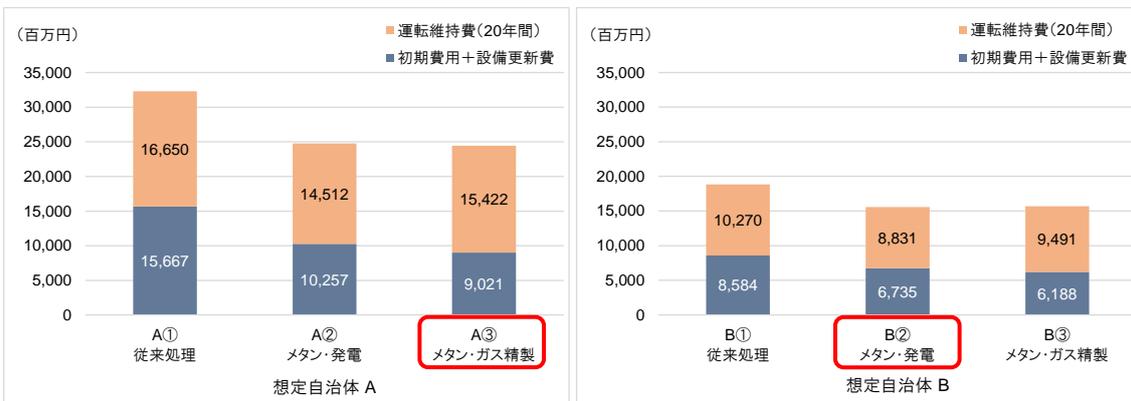


図 2-14 長期コスト

〔①従来处理〕

初期費用・短期コスト・長期コストいずれも〔①従来处理〕で最も高く、特に想定自治体 A の焼却施設の建設費が約 122 億円と高額であった。〔②メタン・発電〕〔③メタン・ガス精製〕のように生ごみを分別しメタン発酵によりエネルギー化することで、焼却施設を小型化・し尿処理施設を廃止し、初期費用を想定自治体 A で 4 割、B で 3 割程度削減可能という結果となった。

〔②メタン・発電〕と〔③メタン・ガス精製〕の比較

〔③メタン・ガス精製〕は〔②メタン・発電〕と比較して、

- ・ 初期費用は安い、年間運転維持費は高い。
- ・ 長期コストでは想定自治体 A で安く（約-3 億円）、B で高い（約+1 億円）。

という結果となった。

本試算条件では、〔②メタン・発電〕は発電・充電設備と EV トラックを有しており、20 年間で 1~2 度の設備更新を行うため、発電関連設備にかかるコストが大きくなる。よって長期的な利用を考慮した場合、導入規模によってはガス精製利用の方が低コストとなる。

(4) CO₂排出量

CO₂ 排出量のまとめ（電力の排出係数 2023 代替値での試算結果）を表 2-17 に、CO₂ 排出量算定に係る評価項目ごとの活動量を表 2-18 に示す（CO₂ 排出量の試算条件及び試算詳細については「3.2.2 CO₂排出量試算」を参照）。

各排出量、削減可能量は下記の通り試算を行った。

- ・ **【1】システム内 CO₂ 排出量**
システム内の施設設備におけるエネルギー使用やごみ焼却等により排出される CO₂ 排出量
- ・ **【2】システム外供給による CO₂ 削減可能量**
余剰の発電電力・精製バイオメタン及び液肥のシステム外供給による CO₂ 削減可能量
- ・ **【3】総 CO₂ 排出量**
【1】システム内 CO₂ 排出量 - 【2】システム外供給による CO₂ 削減可能量

表 2-17 CO₂ 排出量まとめ

想定自治体(想定人口)	A(97,000人)				B(48,500人)		
処理システム	①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製		①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製
生ごみ収集用トラック 燃料種別	-	EV	CNG		-	EV	CNG
【1】システム内CO₂排出量							
焼却施設							
一般廃棄物の焼却	tCO ₂ /年	247	137	同左	124	68	同左
合成繊維の焼却	tCO ₂ /年	969	969		484	484	
プラスチックの焼却	tCO ₂ /年	8,025	8,025		4,013	4,013	
紙くずの焼却量	tCO ₂ /年	515	515		257	257	
紙おむつの焼却量	tCO ₂ /年	447	447		224	224	
電気の使用	tCO ₂ /年	0	1,556		1,407	778	
助燃剤(灯油)の使用	tCO ₂ /年	75	42		38	21	
小計	tCO₂/年	10,278	11,691	11,691	6,547	5,845	5,845
し尿処理施設							
し尿・浄化槽汚泥の処理	tCO ₂ /年	33	-	-	24	-	-
電気の使用	tCO ₂ /年	781	-	-	553	-	-
小計	tCO₂/年	815	-	-	576	-	-
メタン発酵処理施設(ガス発電設備・ガス精製等設備含む)							
電気の使用(施設)	tCO ₂ /年	-	806	806	-	522	522
電気の使用(発電設備)	tCO ₂ /年	-	40	-	-	22	-
電気の使用(精製・充填設備)	tCO ₂ /年	-	-	513	-	-	303
小計	tCO₂/年	-	847	1,319	-	544	825
車両							
燃料の使用(バッカー・軽油)	tCO ₂ /年	399	233	233	199	116	116
燃料の使用(生ごみトラック・電気)	tCO ₂ /年	-	0	-	-	0	-
燃料の使用(生ごみトラック・精製バイオメタン)	tCO ₂ /年	-	-	0	-	-	0
小計	tCO₂/年	399	233	233	199	116	116
【1】合計	tCO₂/年	11,492	12,770	13,242	7,322	6,506	6,786
【2】システム外供給によるCO₂削減可能量							
電力供給	tCO ₂ /年	712	1,566	-	-	871	-
精製バイオメタン供給(都市ガス代替)	tCO ₂ /年	-	-	2,049	-	-	1,102
精製バイオメタン供給(軽油代替)	tCO ₂ /年	-	-	2,757	-	-	1,483
液肥利用	tCO ₂ /年	-	500	500	-	324	324
【2】合計	tCO₂/年	712	2,067	2,550	-	1,194	1,426
【3】総CO₂排出量							
【1】合計-【2】合計	tCO₂/年	10,780	10,703	10,692	7,322	5,311	5,360
		-	-	9,985	-	-	4,980

表 2-18 CO₂ 排出量算定に係る評価項目ごとの活動量

想定自治体(想定人口)	A(97,000人)			B(48,500人)		
処理システム	①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製	①従来処理	②メタン・発電	③メタン・ガス精製
生ごみ収集用トラック 燃料種別	-	EV	CNG	-	EV	CNG
【1】システム内の活動量						
焼却施設						
一般廃棄物の焼却	t/年	24,393	13,486	同左	12,197	6,743
合成繊維の焼却	t/年	419	419		210	210
プラスチックの焼却	t/年	2,908	2,908		1,454	1,454
紙くずの焼却量	t/年	3,575	3,575		1,788	1,788
紙おむつの焼却量	t/年	367	367		183	183
電気の使用	kWh/年	6,561,749	3,627,821		3,280,875	1,813,910
助燃剤(灯油)の使用	kL/年	30.1	16.6		15.0	8.3
し尿処理施設						
し尿・浄化槽汚泥の処理	kL/年	26,397	-	-	18,668	-
電気の使用	kWh/年	1,821,411	-	-	1,288,079	-
メタン発酵処理施設(ガス発電設備・ガス精製等設備含む)						
電気の使用(施設)	kWh/年	-	1,879,787	1,879,787	-	1,216,471
電気の使用(発電設備)	kWh/年	-	93,744	-	-	52,080
電気の使用(精製・充填設備)	kWh/年	-	-	1,194,787	-	-
車両						
燃料の使用(バッカー・軽油)	L/年	152,155	88,757	88,757	76,077	44,378
燃料の使用(生ごみトラック・電気)	kWh/年	-	128,670	-	-	70,183
燃料の使用(生ごみトラック・精製バイオメタン)	Nm ³ /年	-	-	98,613	-	-
【2】システム外供給量						
バイオガス発生量	Nm ³ /年	-	2,009,665	2,009,665	-	1,082,274
発電量	kWh/年	8,220,481	3,780,000	-	-	2,100,000
場内利用量	kWh/年	6,561,749	-	-	-	-
車両利用量	kWh/年	-	128,670	-	-	70,183
発電電力残分(システム外供給量)	kWh/年	1,658,732	3,651,330	-	-	2,029,817
精製バイオメタン量	Nm ³ /年	-	-	1,156,245	-	-
車両利用量	Nm ³ /年	-	-	98,613	-	-
精製バイオメタン残分(システム外供給量)	Nm ³ /年	-	-	1,057,632	-	-
液肥生成量	t/年	-	37,596	同左	-	24,329
化学肥料代替量	t/年	-	262		-	169

想定自治体 A の CO₂ 排出量と削減可能量について図 2-15 に、想定自治体 B について図 2-16 にグラフで示す。

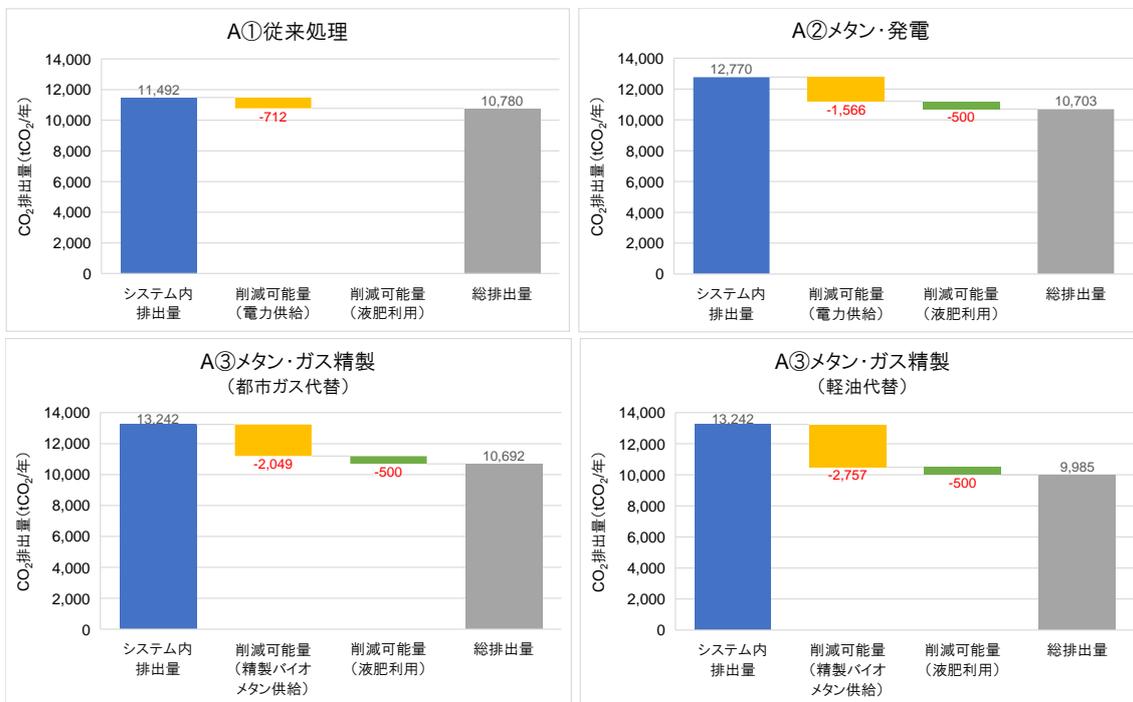


図 2-15 想定自治体 A 各ケースの CO₂ 排出量・削減可能量

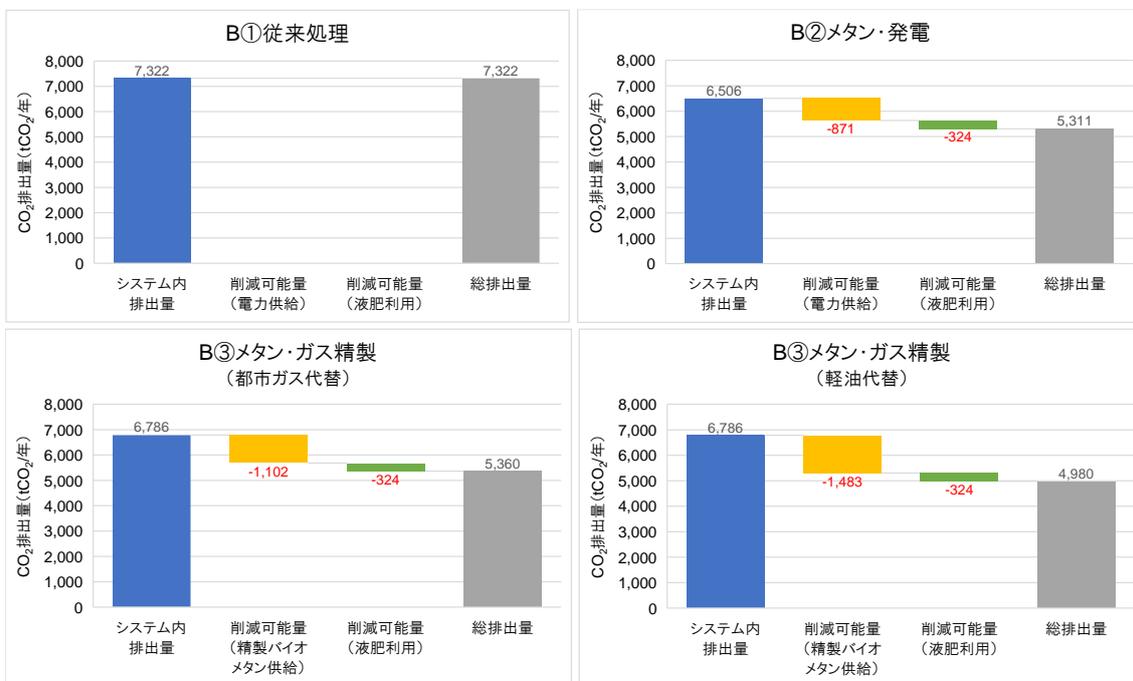


図 2-16 想定自治体 B 各ケースの CO₂ 排出量・削減可能量

総 CO₂ 排出量

総 CO₂ 排出量は、想定自治体 A・B いずれも [③メタン・ガス精製] の軽油代替で最も低く、[①従来处理] で最も高い結果となった。

[③メタン・ガス精製] 都市ガス代替では、想定自治体 B で [②メタン・発電] より総排出量が上回る結果となった。

システム内 CO₂ 排出量

システム内 CO₂ 排出量は [③メタン・ガス精製] で最も高く、最も低いのは想定自治体 A で [①従来处理]、B で [②メタン・発電] となった。

想定自治体 A の [①従来处理] では、ごみ発電電力の場内利用を想定しており、年間約 6,562MWh の購入電力削減 (約 2,815tCO₂) が見込まれるため、排出量が低く算出された。

[③メタン・ガス精製] では精製・充填設備の電力使用量が他システムの施設設備と比較して大きいため、システム内の排出量が高く算出された。

システム外供給による CO₂ 削減可能量

システム外供給による CO₂ 削減量は、想定自治体 A・B いずれも [③メタン・ガス精製] 軽油代替で最も大きい結果となった。都市ガス代替では軽油より排出係数が低いため、同量の精製バイオメタンであっても削減効果は低く算出された。

(5) まとめ

自治体でごみ処理施設を新規整備する場合、従来行われてきた焼却施設・し尿処理施設による一般廃棄物処理と比較して、メタン発酵処理施設により生ごみやし尿・浄化槽汚泥等のバイオマス資源のエネルギー化を行う処理システムの方が、コスト・CO₂ 排出量ともに低く抑えることが可能という試算結果となった。

バイオガスの発電利用とガス精製利用のコストを比較すると、10 万人規模の自治体 (想定自治体 A) ではガス精製利用の方が安価となった。小規模な自治体 (想定自治体 B) では、精製設備等のコストが割高になることからバイオガスを精製せずに発電利用をするケースで長期コストが低い結果となった。CO₂ 排出量については、バイオガス発電設備では熱利用を行わない場合、7 割近いエネルギーロスが生じるため、精製ガスを軽油等排出係数の高い燃料の代替として利用した方が、CO₂ 削減効果は高い。

地域バイオマス資源であるメタンガスの利用拡大・普及の手段として、ガス精製利用は経済性・環境性ともに選択肢となりうると考えられる。そのためには、前提としてごみ分別に協力しやすい環境整備とともに、生成エネルギーを有効活用可能なシステム構築が重要である。

今回の試算では、人口 10 万人規模と 5 万人規模の自治体を想定して試算を行ったが、実際に導入する場合は自治体の人口や面積、導入規模、現状のごみ処理状況等によって条件設定と試算を行い、システム構成を検討する必要がある。

2.3 普及戦略の検討

今後の日本での普及戦略を検討するため、海外の先進事例や政策動向等についての調査を実施した。調査は机上調査と訪問調査を行った。訪問調査については、特にバイオガスの精製利用が増加しているフランスと、バイオガス化施設数がヨーロッパでもっとも多いドイツを訪問した。視察先の訪問記録については参考資料として「3.4 海外動向視察報告」に掲載した。

なお、EU に関する記述では、メタン発酵プラントで生成されるガスを「バイオガス」、それを精製（アップグレード）してメタン濃度を高めたガスを総称して「バイオメタン」と記載した。バイオメタンについて、販売やガス網²²への供給のための付臭や熱量の調整等の有無については必要に応じ本文中に記載した。

2.3.1 EU のバイオガス・バイオメタン普及状況

(1) ヨーロッパ全体でのバイオガス・バイオメタン普及状況

ヨーロッパのバイオガス協会のデータによると、2023 年には 220 億 m³のバイオガス・バイオメタンがヨーロッパで製造されている。これは EU の天然ガス消費の 7%にあたる量である。その中でもバイオメタンの製造は増加傾向にあり、バイオメタン化施設はヨーロッパ全体で 1,510 施設となっており、その 85%以上がグリッド（主に DSO²³）に接続されている²⁴。

²² 以下、海外事例等に関する部分では「グリッド」とし、日本国内に関する場合は「都市ガス網」とする。

²³ DSO（Distribution System Operator）は、ガスを輸送・配給する事業者。需要家への輸送・配給を行う。

²⁴ https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2025/01/Decoding-Biogases-2025_ONLINE.pdf

Number of biogas and biomethane plants in Europe

ヨーロッパにおけるバイオガスおよびバイオメタンの施設数



Source: EBA Statistical Report 2023

図 2-17 ヨーロッパにおけるバイオガス・バイオメタンの施設数²⁵

(2) 代替燃料自動車の普及状況

車両燃料としての利用について確認するため、まずは欧州委員会の欧州代替燃料観測所（European Alternative Fuels Observatory）の各種データ²⁶から EU 代替燃料自動車の普及状況を確認した。

以下に乗用車における代替燃料車の普及状況（図 2-18）と、トラック部門での新車登録台数及び総登録台数データを掲載した（図 2-19、図 2-20）。

CNG 車、LNG 車は特に商用車、バス、トラック部門で大きく伸びている。乗用車では、CNG 車の 2023 年の普及率は 0.48% となっており、登録総台数は 124 万台以上となっている。

²⁵ ドイツバイオガス協会提供資料（2022 年までのデータ）

²⁶ <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27>

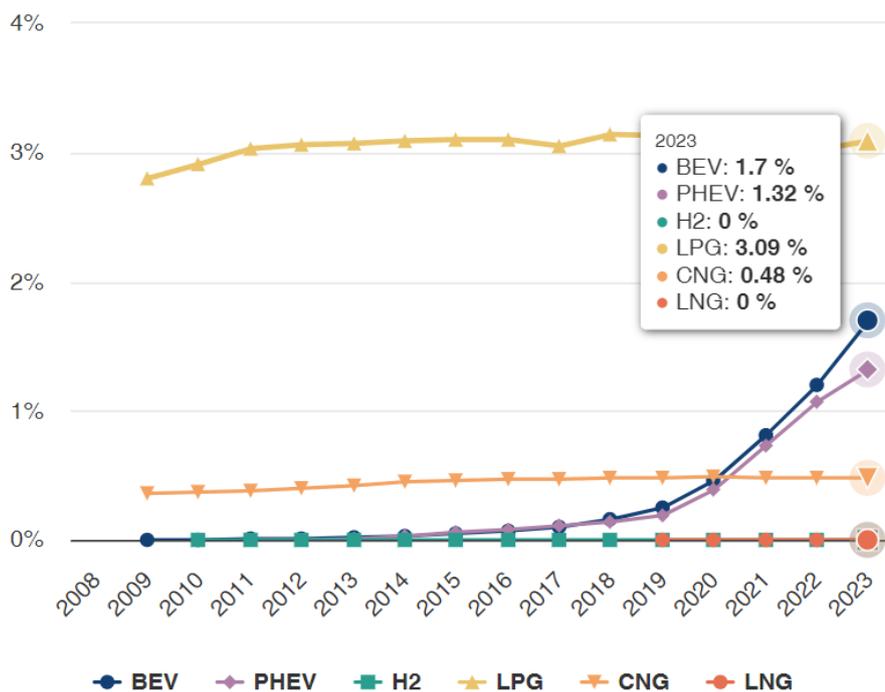


図 2-18 乗用車における代替燃料車の普及状況

トラック部門では、登録総数、新車登録台数がいずれも伸びており 2023 年では 7,216 台、2024 年では 6,736 台の CNG 車が新規に登録されている。登録総数では代替燃料車の内で最も多いのが CNG 車で、3 万台以上が登録されている。

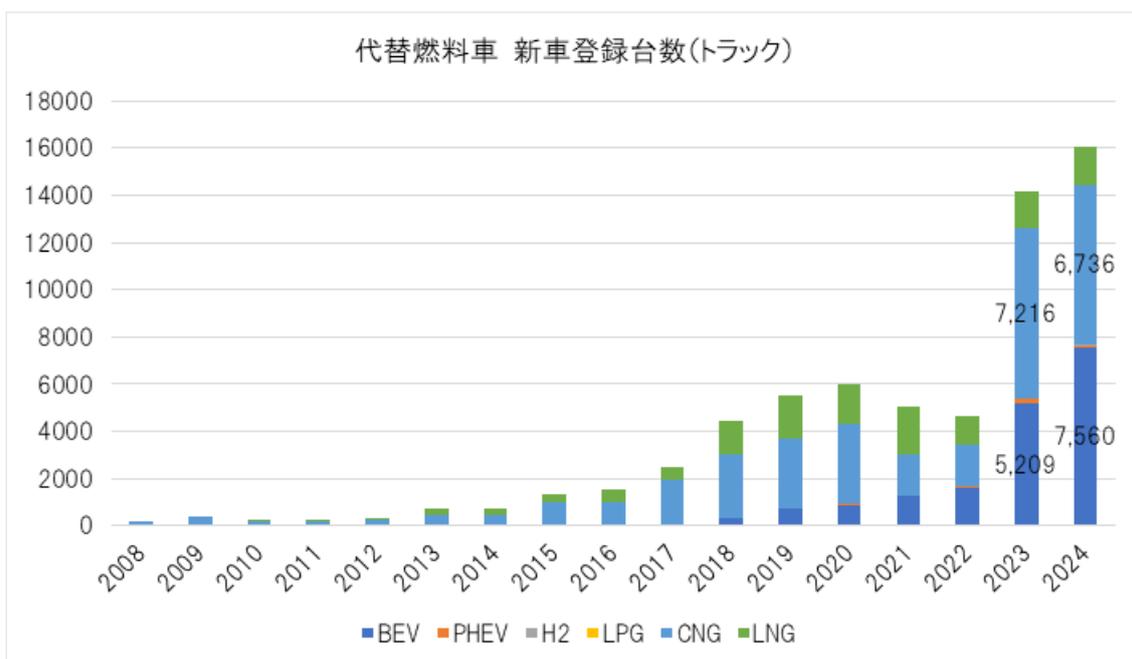


図 2-19 EU の代替燃料車年度別新車登録台数 (トラック)

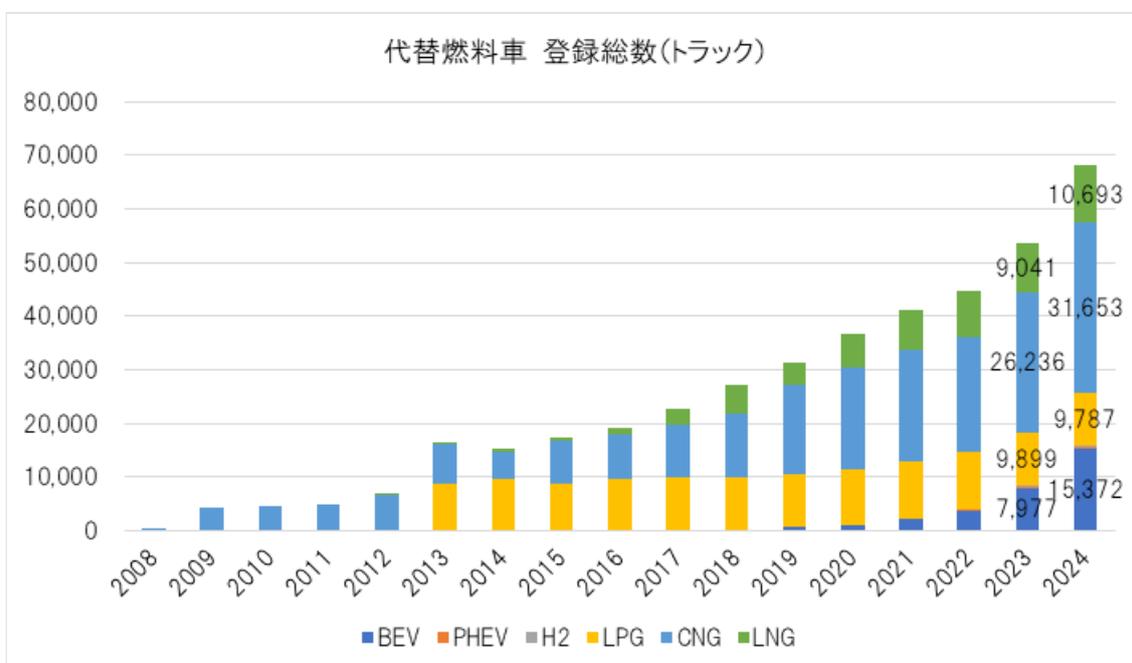


図 2-20 EU の代替燃料車年度別登録総台数 (トラック)

充填ステーション²⁷の数は 2024 年に 4,601 か所となっており、天然ガス自動車（CNG 車、LNG 車）約 306 台ごとに 1 か所の充填ステーションがある計算になる。

2.3.2 EU におけるバイオガス・バイオメタンに関する政策・施策

(1) EU におけるバイオガス・バイオメタンの普及に関連する政策や施策

REPowerEU 導入目標値

ロシアとウクライナの国際関係を背景とし、2022 年 5 月に欧州委員会は REPowerEU プランを発表した。この計画はロシアの化石燃料への依存を減らすために、省エネ、エネルギー供給の多様化、クリーンエネルギーの生産に関する目標を掲げている。目標にはバイオメタンの製造に関する長期目標も含まれており、2030 年までに EU 全体で 350 億 m³のバイオメタン製造を目標の一つに掲げている。

再生可能エネルギー指令（RED: Renewable Energy Directive）

RED は、欧州連合（EU）が再生可能エネルギーの利用促進を目的として制定した法的枠組みで、2023 年改定の RED III が最新となっている。RED III は前述の REPowerEU プランを受けて改定されたものであり再生可能エネルギーの導入目標値は従来の 32% から 42.5%（実質目標 45%）に引き上げられた。

廃棄物枠組み指令（Waste Framework Directive）

廃棄物の定義、及び、リサイクル、回収等の廃棄物管理に関連する基本的な概念と定義を設定している廃棄物枠組み指令では、加盟国は食品廃棄物削減プログラムを策定することが義務付けられている。2025 年 2 月にはその改正案で、加盟国に対し食品廃棄物の削減目標を設定することで合意に至った。具体的には加盟国に対し 2030 年までに、食品の加工・製造段階で出る廃棄物を 10%削減すること、小売り、外食産業、消費者から出る廃棄物を合算で人口 1 人当たり 30%削減することを求めることとなる。今後は加盟国ごとに、これらの目標の達成に向けた政策を策定し、実施することになる²⁸。

²⁷ CNG/LNG の充填ステーション（バイオメタンやバイオ LNG の充填ステーションを含む）

²⁸ <https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/02/28974820740fefdd.html>

(2) フランスにおけるバイオガス・バイオメタンの普及に関連する政策や施策

グリーン成長のためのエネルギー転換法（LETCV: Loi de transition énergétique pour la croissance verte²⁹）

フランスでは、2015年に制定したグリーン成長のためのエネルギー転換法（LETCV）で2030年までにフランスの天然ガス消費における再生可能ガスの割合を10%に増やす目標を設定した³⁰。

エネルギー・気候戦略（Stratégie française pour l'énergie et le climat）

2023年11月に公表したエネルギー気候戦略では、バイオガス生産量について、2030年までに50TWhを導入目標として設定している³¹。

GO制度

バイオメタンの環境価値を証明するための証書（GO: Guarantees of Origin）制度が導入されている。GO制度により、バイオメタンの生産者は1MWhごとにGOを発行でき、消費者や企業はGOを購入することで、再生可能エネルギー由来のガスを使用していることを証明可能である³²。

食品廃棄の禁止、分別の義務化に関する法規

分別・リサイクルの面では食品廃棄禁止法³³により面積が400m²以上のスーパー等からの食品廃棄を禁止しており、寄付または資源化を義務化している。さらに循環経済のための廃棄物防止法（AGEC法）³⁴では2024年1月から国民にも生ごみ分別が義務化されている。

固定価格買い取り制度

バイオメタン化の支援策としてはバイオメタンの固定価格買い取り制度があり、買い取り価格についても2023年度に引き上げられており³⁵、今後もバイオメタン施設の増加が見込まれている。

²⁹ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/loi-transition-energetique-croissance-verte>

³⁰ 2019年11月には同法を改正した「エネルギー・気候法」が施行されている。

³¹ https://www.jetro.go.jp/biznews/2023/12/b664c1ed521a7f16.html?utm_source=chatgpt.com
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23242_Strategie-energie-climat_def2_0.pdf

³² <https://www.eex.com/en/markets/energy-certificates/french-biogas-gos>

³³ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032036289/>

³⁴ <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-anti-gaspillage-economie-circulaire>

³⁵ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047670236>

これらの施策により、フランスでのバイオメタン利用は近年急増しており、バイオガスのさまざまな用途を合計すると、2022年のガス消費量の約5%を占め、2023年のグリッドへのバイオメタンの供給量はガス消費量の約2.4%にまで増加している³⁶。

(3) ドイツにおけるバイオガス・バイオメタンの普及に関連する政策や施策

ドイツでは支援策が手厚かった2015年ごろまでにバイオガスプラントが急増しており、現在までにドイツ国内では1万近くのバイオガスプラント(バイオメタンプラントを含む)が稼働している(図2-21)。

Development of the German biogas sector

ドイツのバイオガス・セクターにおける発展

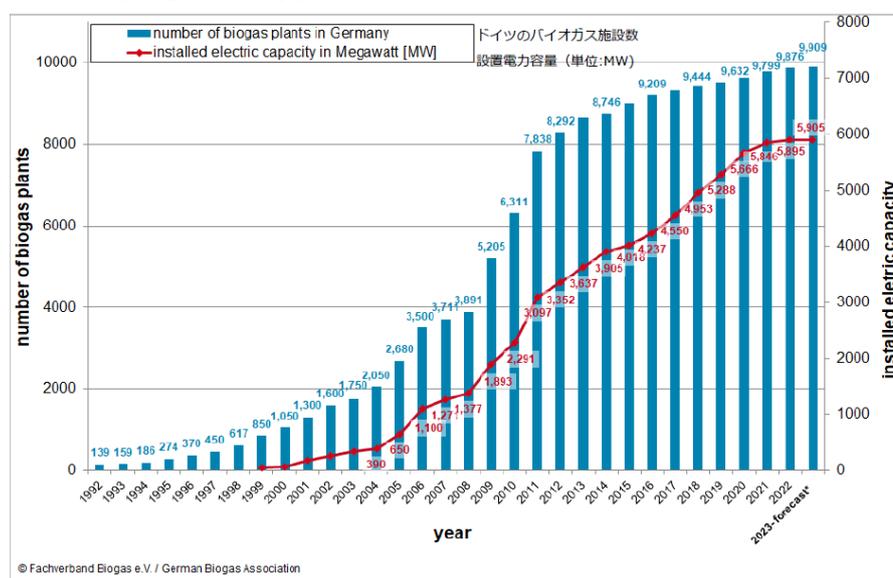


図 2-21 ドイツのバイオガス施設数と導入容量³⁷

再生可能エネルギー法 (EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz)

ドイツでは再生可能エネルギー法 (EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz) によりバイオメタンの固定価格買い取りを行っている。近年では EEG の改正により規模により競争入札制度が導入されており、効率的なプロジェクトが選定される仕組みとなっている。

³⁶ https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/12/CountryReport2024_France_final.pdf

³⁷ ドイツバイオガス協会提供資料

GO 制度

バイオメタンの環境価値を証明するための証書（GO: Guarantees of Origin）制度が導入されている³⁸。GO 制度では、環境価値の証明書は実際のガスとは切り離して販売することが可能である。バイオメタンの製造者はグリッドにガスを注入する際に GO 制度での認証のほか、下記の GHG クォータ向けの販売を選択することも可能である。

温室効果ガス削減割り当て（GHG クォータ）規制

ドイツではバイオメタン等の再生可能燃料の利用促進を目的として、燃料供給業者に対し、供給する燃料の GHG 排出削減率を段階的に引き上げることを義務付けている。2015 年の導入時は 3.5%であったが、現在は 9.35%となっている。今後 2030 年の 25%へと段階的な引き上げが予定されている。燃料供給事業者が GHG クォータ規制を満たすためには上記の GO 制度での認証購入では認められず、GHG クォータ用に Nabisy³⁹というシステム経由で環境価値のついたガス等の購入をする必要がある。

2.3.3 ガス品質の管理について

ガス品質の管理に関しては国ごとに規格・運用が異なるが、欧州規格 EN16726 で H グループガス⁴⁰の品質のほか、輸送や貯蔵、利用に関して定められている。この規格は欧州のガス市場の最新動向を考慮し、水素含有量やウォッベ指数等新しいパラメータを含め 2025 年に改定が行われる予定である。ウォッベ指数に関しては、草案ではガス供給の安全性と多様化を確保し、入り口と出口を区分（デカップリング）し、エンドユーザー側でのガス品質変動の監視・管理を強化することが提案されている。

また、EN16726 に基づき、EN16723-1 でガスグリッドに注入するためのバイオメタンについて、EN16723-2 で自動車燃料としての天然ガスとバイオメタンについての規格を定めている。

ガス品質に関しては、ENTSOG（The European Network of Transmission System Operators for Gas 欧州ガス送電事業者ネットワーク）が、ガス品質についての動向をとりまとめたモニタリングレポートを作成している⁴¹。

図 2-22 に 2022 年のヨーロッパ内でのバイオメタン国際取引量を示す。デンマークからスウェーデン、スイスへと大きな流れがあるほか各国間での取引が示されている。国ごとに気候変動対策やバイオメタンへの支援策も異なり、ガス品質の管理・検証システムも異なる

³⁸ www.biogasregister.de

³⁹ <https://nabisy.ble.de/app/locale?set=en>

⁴⁰ EU の都市ガスで一般的に使われているガス分類の一つ。試験用ガスの欧州規格である EN437 によるとウォッベ指数が 45.7～54.7MJ/m³（15℃、1 気圧）の範囲のものとされているが、現行版の EN16726 ではウォッベ指数は定められていない。

⁴¹ [https://www.entsog.eu/sites/default/files/2024-](https://www.entsog.eu/sites/default/files/2024-12/ENTSOG%20Gas%20Quality%20Monitoring%20Report%20-%20First%20Edition.pdf)

12/ENTSOG%20Gas%20Quality%20Monitoring%20Report%20-%20First%20Edition.pdf

ためモニタリングと検証システムについて調整が必要な状況であり、今後 UDB (Union Database for Biofuels) というシステムが作成される予定である。

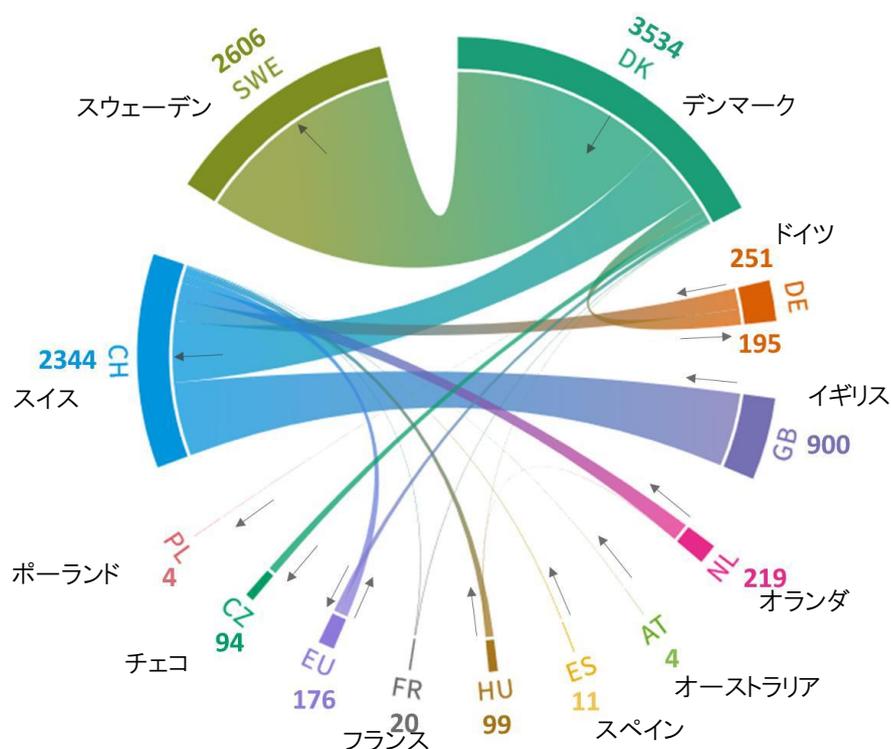


図 2-22 2022 年のヨーロッパでのバイオメタン国際取引 (GWh) ⁴²

2.3.4 運用面での日本との相違

- ・ バイオガス・バイオメタンの普及の進んでいる国では、バイオメタンの FIT 制度等、バイオメタンの製造販売事業が成り立つような買い取り制度等が整備されている。
- ・ バイオメタンについて、環境価値と燃料としての価値を切り離して取引可能な証書制度が機能している。国ごとに制度は異なるため、認証済みのバイオメタンの国際取引や相互認証については各国の制度のすり合わせ状況による。
- ・ インフラ面では、精製後のバイオメタンを熱量調整せずに、グリッドに供給・販売をすることが可能である。
- ・ 原料について家庭の生ごみ、事業系の食品廃棄物、畜産系の残渣、エネルギー作物等を混合利用する際のハードルが少ない。これは廃棄物の分類が日本とは異なり、有害廃棄物とそれ以外の廃棄物とに大別することが基本となっている点に大きな相違点がある。
- ・ 車両利用について、充填ステーションのマップがオンライン上で整備されており、CNGステーション、LNGステーションの検索が可能だけでなく、それぞれのステーショ

⁴² 30GWh 以下の取引は除く。Biomethane Industry Barometer 2023
<https://www.dena.de/en/infocenter/biomethane-industry-barometer-2023/>

ンの供給ガスについてバイオシェア（供給ガス中のバイオメタン、バイオ LNG の割合）が情報として掲載されている。

- ・ TSO⁴³事業者が存在しており、地域や国をまたぐガス供給事業がある。
- ・ フランスの食品廃棄禁止法や、ドイツの GHG クォータ規制等にみられるように、事業者への規制が日本より厳しいことがリサイクルや再生可能エネルギー事業の後押しとなっている。

2.3.5 日本の現状と課題

日本の精製バイオメタンの普及の現状について、精製バイオメタンの取引条件や制度、車両利用の前提となる天然ガス自動車の充填インフラや車両の導入状況、原料となる廃棄物の取り扱い等の面から取りまとめを行った。また、実際に精製バイオメタンを都市ガスとして供給した実績のある組織へのヒアリングを行った。

(1) 精製バイオメタンの販売価格・条件・取引制度について

精製バイオメタンの販売価格

現状では、精製バイオメタンについては製造事業者とガス会社との直接取引となり、買い取り価格はガス事業者の販売価格等を目安として個別契約で定められる⁴⁴。現行の制度では、カーボンニュートラルであるという環境価値が、付加価値として買い取り価格に上乘せされないため、供給側の採算性としては未精製のバイオガス発電による FIT 売電が優位な状況である⁴⁵。

精製バイオメタンの販売条件について

ガス会社により詳細な条件は異なるが、大手 3 社⁴⁶ではいずれも、各ガス会社の供給する都市ガスと同等品質になるように熱量調整、付臭をすることが買い取り条件となっている。参考として表 2-19 に大阪ガス株式会社のバイオガス購入にあたっての基準値を示す。

購入条件を満たすための調整（熱量調整のための化石燃料添加、付臭等）により CO₂ の排出量やコストが増大し、採算性の悪化につながっている。

⁴³ TSO（Transmission System Operator）は大口径高圧のガス管で広域のガス流通を担当する事業者。

⁴⁴ 資源エネルギー庁バイオガス・バイオメタンの都市ガス利用について（2023 年 4 月）資料 p.11
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/gas_jigyo_wg/pdf/028_03_01.pdf

⁴⁵ 現在、エネルギー供給構造高度化法の目標達成のために、一般的な調達費用よりも割高となる費用については、託送料金原価に含めることが検討されている。

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/079_07_00.pdf

⁴⁶ 東京ガス(株)、大阪ガス(株)、東邦ガス(株)

表 2-19 ガス組成等の基準⁴⁷

《別表1》ガスの組成等の基準

この要領に基づくバイオガス購入をお受けするにあたっては、以下の組成等の条件を満たすことが必要となります。

<ガスの組成等の基準>

項目	基準値*1	備考
標準熱量	45MJ/m ³ N	ガス事業法の熱量の定義による
総発熱量	44.2～46.0MJ/ m ³ N	24 時間の最高・最低差が 1MJ/m ³ N以下であること
ウォッペ指数	52.7～57.8	成分の含有率より算定する
燃焼速度	35～47	算定方法はガス事業法による
比重	1.0 未満	空気を 1.0 とする
硫化水素	1.0mg/ m ³ N 以下	
全硫黄	5.0mg/ m ³ N 未満	付臭剤中の硫黄分を除く
アンモニア	検出せず [※]	
付臭濃度	12～16mg/ m ³ N	原則として当社と同一の付臭剤を使用
水素	4vol%以下	
一酸化炭素	0.05vol%以下	
酸素	0.01vol%以下	
窒素	1.0vol%以下	
二酸化炭素	0.5vol%以下	
受入温度	0℃～40℃	
受入圧力	受入地点の導管運用上の最高圧力以下であること	流量または圧力を制御する設備の上流でバイオガス購入契約量の受渡しに必要な圧力を確保すること

*1：基準値とは、受入地点においてガスが原則として常時満たすべき性状等の上下限值であり、ガス製造設備の設計、運転の基準となる数値をいいます。

以下の項目については、ガス製造方法の違い等による差異が大きいため、個別に協議させていただきます。

- ・ 炭化水素の露点
- ・ 水分
- ・ ガスのノッキング性
- ・ その他の成分：油分、微量元素（V, Pb, Cl 等）、オレフィン類、ジエン類、ベンゼン、トルエン類、シロキサン等

⁴⁷ バイオガス購入要領（2022年4月1日改定）大阪瓦斯㈱より抜粋

精製バイオメタンの取引制度について

需要側が脱炭素燃料として精製バイオメタンを利用することが現状では難しく、環境負荷の低いバイオメタンを指定して購入することが難しい。この点についてはクリーンガス証書の制度が2024年度より開始したばかりであり、クリーンガスの環境価値のみを売買することが制度上は可能となりつつある。クリーンガス製造設備認定を受けているのは2024年11月末時点で4か所となっており、内2か所がバイオガス製造施設となっている⁴⁸。

精製バイオメタンの販売について（ヒアリング報告）

日本でバイオガスの精製・販売を行っているいくつかの先行事例について、ヒアリングを実施した。以下①～③にヒアリングの概要を記載した。

① 神戸市下水道局

- ・ 下水処理場（神戸市建設局東水循環センター）の消化ガス（バイオガス）を精製し自動車燃料としての利用と、都市ガス供給を行ってきたが、2022年3月に都市ガス供給については停止している。
- ・ 停止の理由としては、プロジェクトの終了により補助金が終了したことや、機器の老朽化等、採算性の面が大きい。
- ・ 精製方法は高圧水吸収法で、供給にあたり熱量調整（LPガス添加）を行っていた。
- ・ 車両燃料としての供給は現在も継続しており、車両用精製バイオメタンについては熱量調整をしていない。
- ・ 都市ガス接続で難しい点は、受け入れ条件が厳しく、常時分析をし続けないといけない点で、計器の維持管理・修理等にも費用がかかる。
- ・ 現在はバイオガス発電で売電をしており、経済性の面では改善している。

② 鹿児島市南部清掃工場

- ・ 清掃工場の供用開始（2022年）から、隣接する都市ガス事業者（日本ガス株式会社）に精製バイオメタンを供給している。
- ・ 可燃ごみを機械選別したのちの発酵適物と、し尿処理場の脱水汚泥等を乾式メタン発酵している。
- ・ 精製方法は膜分離でメタン濃度を95vol%以上にしたものをパイプラインで送っている。ガス品質についてはガスクロマトグラフィーで常時確認を行っている。
- ・ 都市ガスの原料ガスとして販売をしており、付臭や熱量調整は行っていない。
- ・ 価格についてはガス事業者のLNG輸入単価を目安として設定されている。
- ・ 環境価値も含めて販売しており、ガス事業者がクリーンガス証書を取得している。

⁴⁸ https://www.clean-gas-certificate.com/list/file/cg-plant-cert-list_2411.pdf

- ・ 採算性という面では、ガス供給により処理場の費用の削減になればということでスタートしており、ガス供給事業単体での事業採算性は求めている。

③ 長岡中央浄化センター

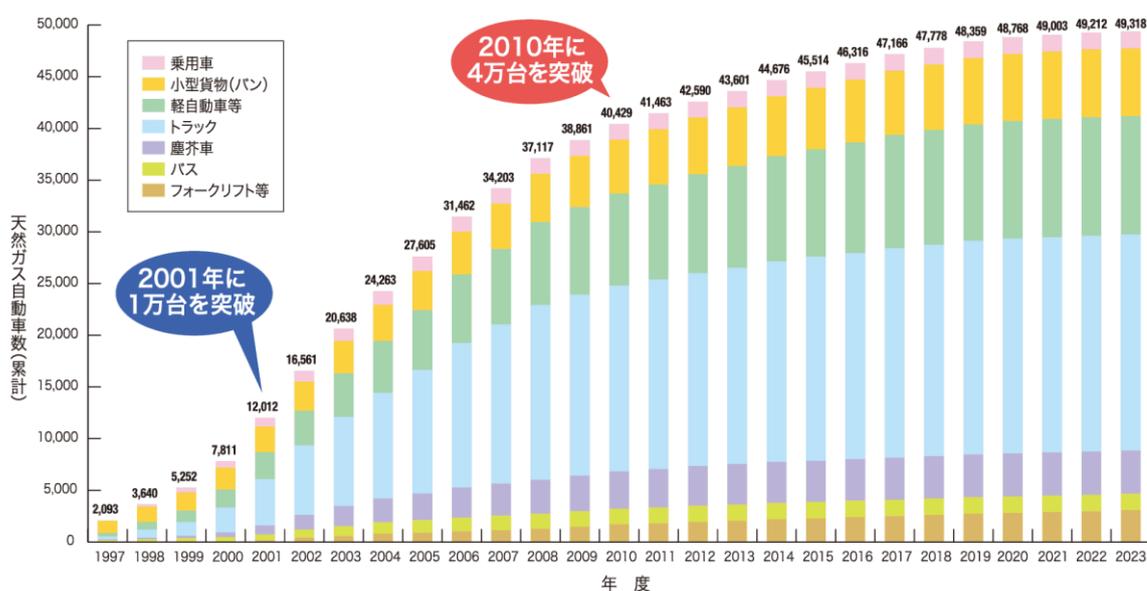
- ・ 下水処理場の消化槽からの消化ガス（バイオガス）を精製し、ガス事業者（北陸ガス株式会社）へ供給している。
- ・ ガス供給については余剰バイオガスを有効活用する目的で、隣接するガス事業者の供給拠点があったことから 1999 年に開始した。
- ・ 精製方法は高圧水吸収法で、メタン濃度を 90vol%以上、CO₂濃度 4vol%未満、熱量 35.5MJ/m³以上という条件で供給している。
- ・ 供給開始から 25 年ほど経過し、設備更新が今後の課題となっている。
- ・ 未精製の脱硫済みバイオガスを隣接する長岡バイオマス発電にも供給している。
- ・ 買い取り価格については、精製バイオメタンの方が単価はバイオガスよりも若干高いが、その分精製にコストがかかるため採算性が課題となっている。
- ・ 環境価値も含めた価格となっており、ガス事業者が今後クリーンガス証書を取得する予定となっている。

鹿児島と長岡の事例については、付臭や熱量調整をせず、精製バイオメタンを都市ガスの原料ガスとして供給している。これはガス供給拠点が隣接しているという立地を活かした事例と言える。いずれの事例も処理場の余剰ガスを活用しており処理施設全体のコスト削減が目的であり、採算性を追求しない自治体主導の取り組みであることから成り立っていると言える。今後は精製バイオメタンの普及制度に拡充がなければ、設備の老朽化と補助金の終了でガス供給を停止した神戸の事例にあるように、設備更新が課題となってくると考えられる。

(2) 精製バイオメタンの車両利用について

天然ガス自動車（CNG 車/LNG 車等）の普及状況について

日本の天然ガス自動車は 2010 年に 4 万台を突破したが、その後大きな伸びはなく 2023 年度で、49,318 台となっている。この台数は累計となっているため実際に稼働している車両台数は減少していると考えられる。

図 2-23 天然ガス自動車導入台数の推移⁴⁹

累計台数から、前年度の台数を差し引く形で、年度別の導入台数をグラフ化したのが図 2-24 である。2008 年度以降は新規の登録台数は減少を続けており、2023 年度にはわずか 106 台となっている。

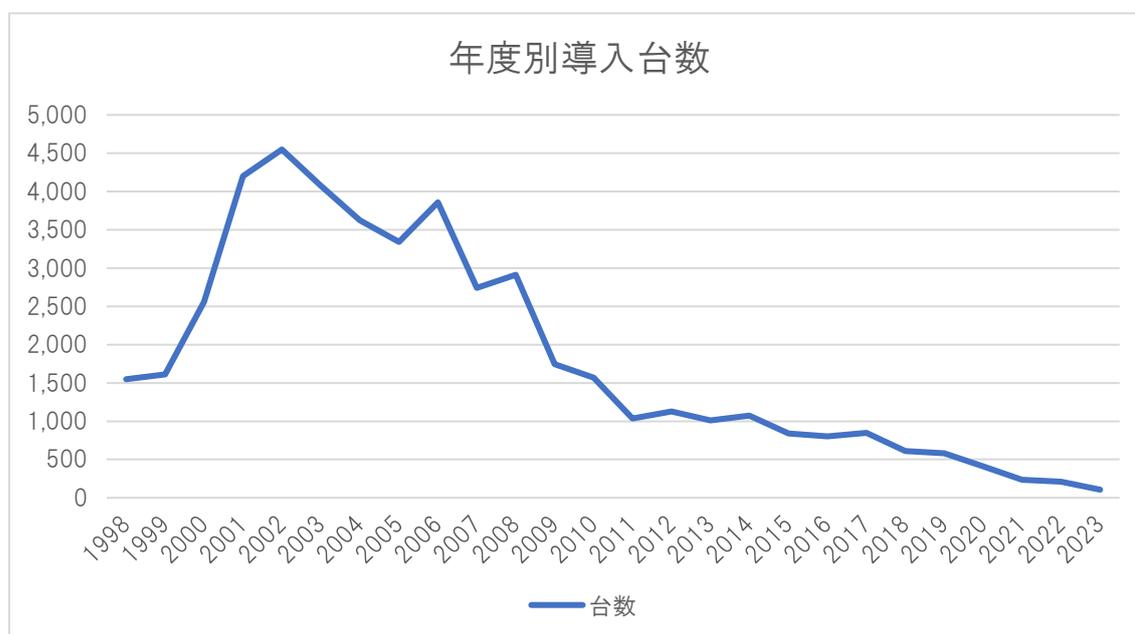


図 2-24 日本における天然ガス自動車の年度別新規導入台数

⁴⁹ https://www.gas.or.jp/ngvj/ngv_spread/index.html

充填設備の普及状況について

天然ガス自動車の減少に伴い、燃料の充填ステーションについてもその数が減少しており、急速充填スタンド（天然ガススタンド）は2024年3月31日現在で全国に148か所、小型充填機は194台となっている⁵⁰。

小規模な施設で精製バイオメタンを車両燃料として利用する場合、ガスの充填に市販の小型充填機（昇圧供給装置、またはVRA）を利用することが可能であれば、充填機のコストを下げる事が可能である。小型充填機はCNG車への都市ガス燃料充填用に市販され広く利用されている設備であり、都市ガス導管からのガス利用においては、ガス事業法に基づいたガス工作物として利用可能である。但し、本実証では都市ガス導管からのガス利用ではないことからガス事業法が適用されず、高圧ガス保安法の対象と判断されたため、同法の技術基準に則り、充填設備を設計した。今後の車両利用を進めるにあたって、すでに日本国内でも利用実績のある小型充填機が精製バイオメタンでも利用可能になればコストの引き下げにつながる⁵¹。

(3) 廃棄物の区分

日本では廃棄物の区分が細かく、廃棄物の種類により処理責任者や処理ルール、必要な許認可も異なるため、混合処理をする施設設置のハードルが高い。例を挙げるとスーパーの食品系ごみは事業系一般廃棄物、食品工場の廃棄は産業廃棄物、市民の食品系ごみ、し尿・浄化槽汚泥は一般廃棄物となる。

処理施設は一般廃棄物、産業廃棄物等の区分により、それぞれ位置付けが異なる。自治体の一般廃棄物処理施設では「みなし一廃」「あわせ産廃」と呼ばれる形で産業廃棄物を受けられるケースも一部あり、また、産業廃棄物処理施設であっても自治体の許可により一般廃棄物の処理受入が可能である。一方でこのような事例は多くない。また、日本では、畜産系廃棄物のメタン発酵処理施設は排出者が設置する場合、廃掃法上の処理施設としての設置許可は不要であるが、食品残渣等、畜産系以外の有機性廃棄物を原料として受け入れる場合には、その原料が一般廃棄物にあたるか産業廃棄物にあたるかにより、許認可の確認や施設設置の許可申請等、煩雑な手続きが多く、設置許可についても自治体の判断に委ねられることになる。

一般廃棄物については市町村において再生利用指定制度が、産業廃棄物については都道府県により再生利用個別指定制度があり、それぞれ基準に合致する再生利用事業については施設の設置許可や収集運搬の許可が不要になる場合があるが、自治体により基準や対象物等が異なりメタン発酵処理施設で活用可能なケースは少ない。また一般廃棄物・産業廃棄物両方を受け入れる場合は市町村と都道府県へ別々に確認・申請が必要となる。

⁵⁰ https://www.gas.or.jp/ngvj/ngv_spread/index.html

⁵¹ この点に関しては令和3年度報告書 p.47～に詳細を取りまとめている。

2.3.6 まとめ 国内での精製ガス利用の普及に向けて

本実証及び評価の結果、先進地での動向調査を踏まえ国内での精製バイオメタン利用の普及に向けた提案事項を表 2-19 に取りまとめた。

表 2-20 精製バイオメタンの普及促進策

導入支援関連	【制度創設】 都市ガス網を通じてバイオメタン等を取引可能なガス版 FIT 制度の創設 都市ガス網エリア外の独立型施設はクリーンガス証書制度の利用を推進
	【助成】 バイオメタン化施設整備に関する助成 バイオメタンの販売価格へのプレミアム設定 (新設だけでなく卒 FIT のメタン発酵施設へのバイオメタン化を推奨)
	ごみ分別や資源化の義務化等による資源化物の利用促進
	関連事業者への割り当て義務を定めることによる導入促進
インフラ関連	付臭・熱量調整をせずに都市ガス網へ接続できるよう指針等を整備 標準熱量の引き下げ等の検討
	減少傾向にある天然ガススタンドの継続支援
	都市ガス網へのバイオメタンの受け入れ要件を統一(現状はガス事業者ごとに異なる)
法規関連	ガス事業法と高圧ガス保安法についての整理(車両への小型充填機がガス事業法(都市ガス網範囲)では利用可能だが、高圧ガス保安法では適用が難しい制約等の運用上の整理) →車両利用の促進、充填設備の低コスト化、運用の簡易化につながる
	廃掃法の「再生利用個別指定制度」の拡充(現状「産業廃棄物」を対象としているが、事業系一般廃棄物も混合処理を可能にする等)、もしくは処理施設の許可がない畜産農家のメタン発酵プラントへの他原料の受入許可等 →施設設置手続きの簡易化、受入原料の多様化による大規模化・事業性向上による導入促進につながる
プラント運用等	受入後の「分別・破碎工程」と、「メタン発酵ガス化工程」を分離した運用を拡大 →人口密集地の資源利用と液肥利用の両立
	液肥利用を前提としている場合でも、包装付き収集後にプラ等の除去を行うことで排出者の負担軽減が可能 →収集量の増加につながる可能性

導入関連支援としては、電力事業の FIT 制度のような固定価格での買い取り制度をガス事業でも創設するなど、経済的な支援策が有効になる。再生可能エネルギーの導入量は FIT 制度開始後から大幅に増加しており(図 2-25)、海外の事例からも事業が成り立つ経済的支援策により導入量が増加することが分かる。固定価格買い取り制度では買取単価が明確なことで事業計画段階での事業性の判断の目安にもなる。

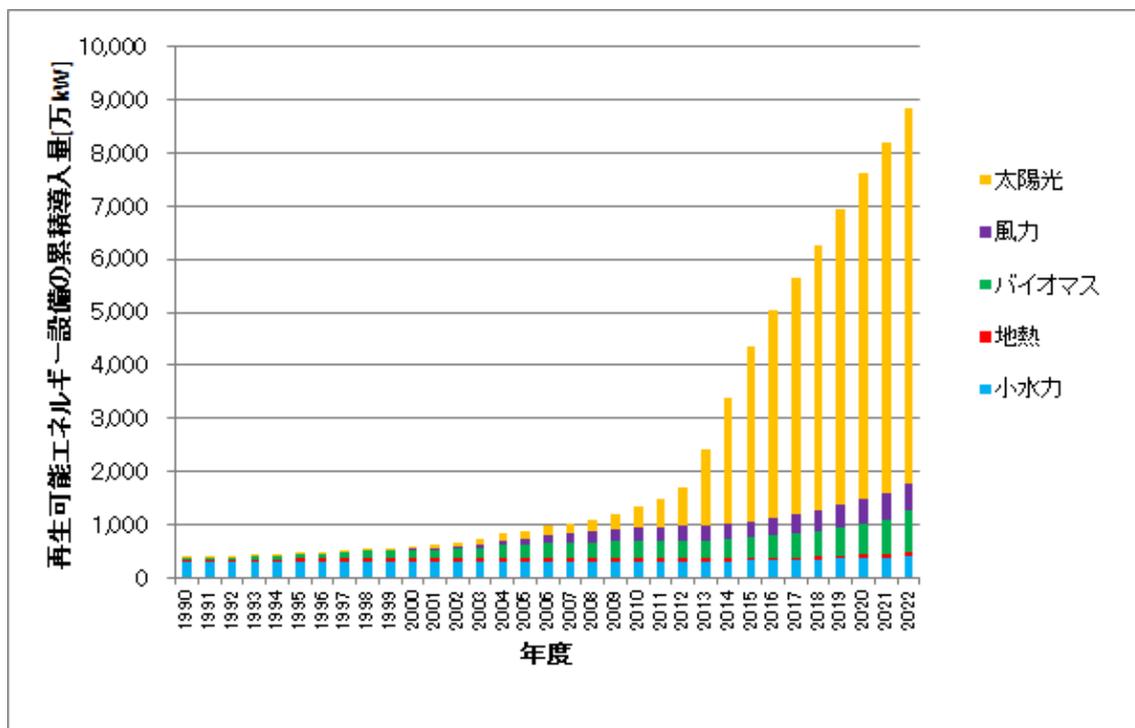


図 2-25 再生可能エネルギー設備の累計導入量 (万 kW) ⁵²

また、バイオガス精製施設整備に関する助成創設が精製利用の促進につながると考えられる。バイオガス精製設備は日本では導入事例が少なく、導入費用が高額であるため補助や助成により、まず導入事例を増加させていくことで、全体の価格低減にもつながっていく可能性が高い。これは今後の卒 FIT のメタン発酵施設の受け皿作りにもつながると考えられる。FIT での買い取り期間である 20 年を経過した施設は、売電を継続しても売電単価が下がることから事業性が低くなる。メタン発酵処理施設は原料の収集運搬や残渣処理や液肥の利用など事業の組み立てにあたって検討や調整が必要な事項が多い。ノウハウを蓄積し運転を継続してきた事業を卒 FIT ということで休止・廃止させないよう、卒 FIT の段階でバイオガス精製に切り替えられる制度があれば車両利用や都市ガス供給などの事例増加や横展開が期待できる。

さらに、ごみ分別や資源化について義務化などについても原料の確保、廃棄物の有効活用という面で効果が高いと考えられる。フランスのように、事業者や国民に生ごみの分別を義務付けすることはすぐにできることではないが効果は高い。

ドイツのように一定規模以上の燃料供給事業者へのバイオメタンなど再生可能燃料の利用割当を定めることについては、現時点ではバイオメタンや再生可能燃料の絶対量が不足

⁵² <https://www.isep.or.jp/archives/library/14470>

しており難しいが、将来的な導入見込み量（目標値）を設定し、それに合わせる形で割当量も設定していくことで計画的に導入と利用が進むと考えられる。

インフラ関連では、付臭・熱量調整が都市ガス供給の難しい点である。今回ヒアリングした、現在ガス供給を行っている 2 者については、付臭・熱量調整はしておらず、原料ガスとしての供給のみをおこなっている。これはメタン発酵処理施設の隣地にガス事業者の拠点があるという施設の立地により可能になっており、一般のガス導管に接続するためには付臭と熱量調整の課題を解決する必要がある。これについては今後、技術的な検証が必要であるが、熱量調整や付臭なしでの供給が可能になることでハードルが下がると考えられる。都市ガスの供給熱量は事業者ごとに定めがあるが、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの大手 3 社はいずれも 13A で 45MJ となっている。一方で同じ 13A のガスグループでも熱量が 42MJ 程度のガスを供給している事業者もある。都市ガスの標準熱量が引き下げになれば、熱量調整に必要な LP ガス等も削減可能になるため段階的な都市ガスの標準熱量の引き下げなどが実現すれば精製バイオメタンだけでなく e-methane など脱炭素燃料の普及につながると考えられる。

車両利用を進めて行くにあたっては、車両の燃料を供給できる天然ガスステーションの維持が欠かせない。充填設備の普及状況について (p.66) に記載した通り天然ガスステーションの数は全国で 148 か所となっており、これ以上減少すると CNG 車や LNG 車の利用が事実上困難になる。EV 車の充填ステーションに向けての支援・補助のように天然ガスステーションの設置・維持についての対策があれば既存インフラの維持につながる可能性が高い。

法規関連では、様々な法令や許認可について整理をしたうえで、複合原料によるメタン発酵と精製バイオメタン事業のモデルケースをいくつか作っていくことができれば、今後の導入のための参考になり横展開が期待できると考えられる。

また、プラント運用については、原料の機械選別（発酵適物を可燃ごみから選別する）は少しずつ普及しているが、液肥利用を前提とした機械選別と、Moulinot Compost & Biogaz の視察事例 (p.101) にあるような都市 - 農村での連携などが実装されていくことで分別作業の省力化と液肥利用の促進につながると考えられる。

評価の結果からは、中小規模の一般廃棄物処理方法として焼却施設を縮小、し尿処理施設を廃止し、メタン発酵処理施設を設置することは経済的、環境負荷的に合理的な選択肢であることを示すことができた。CO₂ 排出量削減の面では、より大規模なメタン発酵処理施設、ガス精製設備を導入することでより大きな削減効果が期待できることから、「中小規模の一般廃棄物処理施設」に限定せず、有機性廃棄物の賦存量を最大限活用することで削減効果にも相乗効果が期待できる。そのためには既存の法規等についての合理的な見直しも必要になると考えられる。エネルギー製造、供給、利用のそれぞれのフェーズで総合的に導入促進策を進めて行くことが今後の脱炭素化に向けて必要である。

精製バイオメタンは車両利用や都市ガス利用においても、既存インフラを活用可能であることが大きな利点の一つである。その意味では既存インフラである都市ガス網を、精製バイオメタンだけでなく、**e-methane**（合成メタン）や水素等の利用を前提として活用していくことで、様々な脱炭素ガスの用途拡大につながり、燃料ガスの脱炭素化が総合的に推進可能と考えられる。

2.4 検討会の開催

今年度の事業では2回の検討会を開催した。検討会の概要は以下の通りである。

2.4.1 第一回検討会

第一回検討会は落合総合センターで開催し、実証計画について説明後に意見交換を行った。実証計画については、今年度の実施事項とスケジュールの確認、エンジン性能試験の結果報告を行ったほか、最終年度となることから成果報告書の最終とりまとめの方向性等について協議を行った。

日 時 2024年6月3日(月) 13:30～
場 所 落合総合センター 2階 第5会議室
参加者 (順不同・敬称略)

環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課	課長補佐 勝見 潤子 主査 三浦 弘靖(Web参加) 係員 松若 大輔 係員 原田 将幸(Web参加) 環境専門員 呉坪 健司 環境専門員 則竹 愛弘(Web参加)
真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合	事務局長 田村 啓二 事務局次長 山口 浩
真庭市生活環境部環境課	資源循環対策室長 山崎 学 主査 松尾 高行
岡山大学 廃棄物マネジメント研究センター	教授 藤原 健史
株式会社バイオガストラボ	代表取締役 三崎 岳郎(Web参加)
Daigas エナジー株式会社 ビジネス開発部	シニアエキスパート 大隅 省二郎
大阪ガスリキッド株式会社 水素ソリューション部	部長 杉田 雅紀(Web参加)
大阪ガスリキッド株式会社 産業ガス営業部 企画チーム	東川 菜々美(Web参加)
大阪ガス株式会社 ガス製造・発電・エンジニアリング事業部	宮井 健志(Web参加)
いすゞ自動車株式会社 サステナビリティ推進部	シニアエキスパート 小林 寛
有限会社エコライフ商友	環境管理部 大倉 繁

株式会社 Fermento	代表取締役 道閑 房恵 業務部 大石 すみれ
---------------	---------------------------

議事次第

1. 開会
2. 今年度の実証スケジュール
3. エンジン性能試験の結果報告
4. 最終とりまとめの方向性
5. 視察について
6. 質疑応答・意見交換
7. 閉会

資料：

- 資料① 令和6年度 実証スケジュール案
- 資料② バイオガス燃料、エンジン性能試験結果、第2報
- 資料③ 最終とりまとめの方向性について
- 資料④ 令和6年度事業における海外動向視察調査について



図 2-26 第一回検討会の様子

2.4.2 第二回検討会

第二回検討会は、2025年1月31日に開催した。第二回の検討会では、今年度の実証及び環境性・経済性評価、海外動向調査の報告を行ったほか、本実証の取りまとめとして将来的なガス精製利用の普及に向けて協議を行った。

日 時 2025年1月31日（金）13:00～

場 所 落合総合センター 2階 第5会議室

参加者 (順不同・敬称略)

環境省環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課	課長補佐 勝見 潤子(Web参加) 係員 松若 大輔(Web参加) 環境専門員 則竹 愛弘(Web参加)
真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合	事務局長 田村 啓二 事務局次長 山口 浩 事務局員 福井 聖恵
真庭市生活環境部環境課	資源循環対策室長 山崎 学 主査 杉尾 高行
真庭市産業観光部農業振興課	農政企画室長 藤田 浩史
岡山大学 廃棄物マネジメント研究センター	教授 藤原 健史(Web参加)
Daigas エナジー株式会社 ビジネス開発部	シニアエキスパート 大隅 省二郎
大阪ガスリキッド株式会社 産業ガス営業部 企画チーム	東川 菜々美
大阪ガス株式会社 ガス製造・発電・エンジニアリング事業部	宮井 健志(Web参加)
いすゞ自動車株式会社 サステナビリティ推進部	シニアエキスパート 小林 寛
有限会社エコライフ商友	環境管理部 大倉 繁
株式会社 Fermento	代表取締役 道閑 房恵 業務部 大石 すみれ

議事次第

1. 開会
2. 今年度の実証報告
 - ・ 走行実証について
 - ・ バイオガスの精製について
 - ・ 吸着貯蔵ホルダ貯蔵量測定結果について
3. CO₂排出削減効果及び経済性についての評価報告

4. 海外動向調査報告
5. 今後の普及に向けて
6. 質疑応答・意見交換
7. 閉会

資料：

- 資料① R6 第 2 回検討会資料
- 資料② 吸着貯蔵ホルダ測定報告書
- 資料③ フランス・ドイツ視察報告



図 2-27 第二回検討会の様子

2.5 審査等委員会への出席

2025 年 2 月 10 日にオンラインで開催された脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業審査等委員会に参加し、実証事業の経過報告を行った。

審査委員会の助言を受け、CO₂ 排出量試算についてはごみ発電の発電量の見直し等を行ったほか、日本でバイオガスを精製して都市ガス供給を行っている事業者へのヒアリングを実施した。

2.6 ヒアリング等への協力

令和6年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO₂対策普及促進方策検討委託業務に関しては、一般財団法人 日本環境衛生センターの依頼により令和7年2月20日にオンラインにてヒアリングに参加した。

2.7 業務委託先との打合せ

本業務の実施に当たり、各業務委託先とは必要に応じ打合せを行った。随時オンライン、現地立ち合いでの打合せ等を実施しており、円滑に事業を実施することができた。

3 参考資料

3.1 エンジン性能試験結果


ISUZU GROUP

バイオガス燃料、エンジン性能試験結果、第2報 (真庭広域廃棄物リサイクル事業協同組合、バイオガス実証事業)

2024/5/13
いすゞ自動車株式会社

1. 試験概要

■ 概要

バイオガス利用実証事業で使用されているバイオガスでのエンジン性能試験を実施する

■ 試験用燃料ガス

下記2種のバイオガスおよび比較用として都市ガス（13A）を使用する

- ・バイオガス① 13A相当：実車で利用しているガス（精製バイオガス+LPGで熱調）
- ・バイオガス② 精製バイオガスのみ

■ 試験用エンジン

実証事業で使用される車両に搭載されているものと同種の4HV1-CNGエンジン

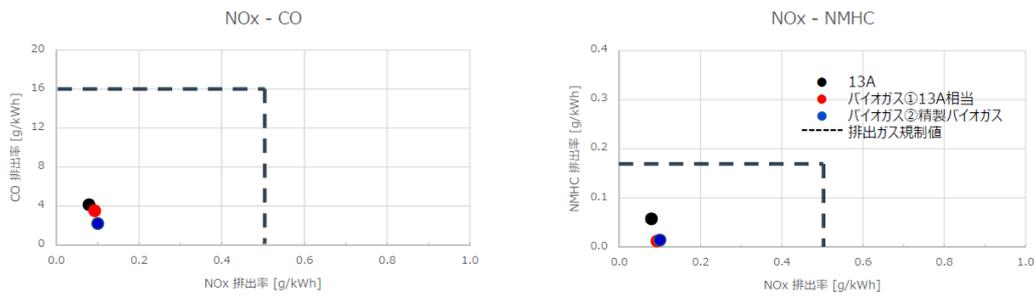
■ 試験内容

下記2種の代表的エンジン性能試験を実施する

- ・JE05モード試験：NGVの排出ガス規制適合を評価する試験
⇒排出ガス成分への影響評価を主目的に実施
- ・全負荷試験：アクセル開度全開での定常試験
⇒エンジン出力への影響評価を主目的に実施

2. 試験結果：JE05モード試験

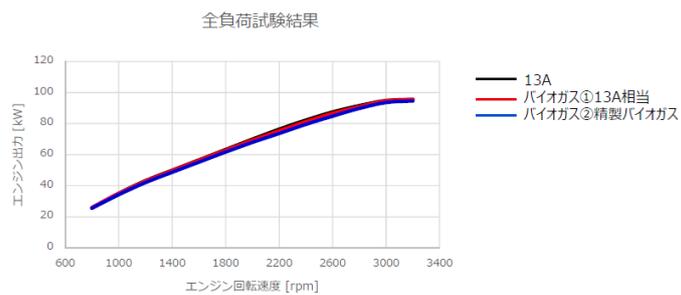
- 排出ガス成分への影響評価のためJE05モード試験を実施
- バイオガス②での排出ガス成分は13Aとの有意差は見られなかった



ISUZU 2/4

3. 試験結果：全負荷試験

- エンジン出力への影響評価のため全負荷試験を実施
- バイオガス②でのエンジン出力は13Aと比較して最大約4%減少(@2200rpm)
燃料発熱量の差による影響と考える



ISUZU 3/4

4. まとめ

【第1報】

- バイオガス① 13相当を燃料に用いてエンジン性能試験を実施し、下記の結果を得た
 - J E O 5モード試験：排出ガス成分は13A同等程度
 - 全負荷試験：エンジン出力は13A同等程度

【第2報】

- バイオガス②精製バイオガスを燃料に用いてエンジン性能試験を実施し、下記の結果を得た
 - J E O 5モード試験：排出ガス成分は13A同等程度
 - 全負荷試験：エンジン出力は13Aと比較して最大約4%減少(@2200rpm)

3.2 コスト・CO₂ 排出量の試算詳細

3.2.1 施設・設備規模及びコスト試算

施設・設備の初期費用・運転維持費の試算に当たり、対象とする施設はフロー図（図 2-4～図 2-6）の評価範囲にある焼却施設、し尿処理施設、メタン発酵処理施設、発電・充電設備、精製・充填設備（貯蔵設備含む）、収集車両とした。

想定自治体 A のコスト試算では基本的に公開・公表資料を参考に「施設規模（設備数）」×「想定単価」により算出を行い⁵³、想定自治体 B では想定自治体 A のコストに対し 0.6 乗則を用いて算出した。但し、精製・充填設備については国内の導入事例が少ないことから、いずれも協力会社の概算見積を基に試算を行った。なお交付金等は考慮していない。

(1) 焼却施設

表 2-12 で算出した焼却ごみ量を基に、焼却施設のコスト試算を行った（表 3-1）。想定自治体 A の〔①従来处理〕は発電設備付き、他は発電設備を持たない焼却施設とした⁵⁴。発電電力は場内利用を行うものと想定し、発電設備の有無で異なる建設費及び運転維持費単価を設定した。なお簡略化のため、表内では処理システム〔①従来处理〕〔②メタン・発電〕〔③メタン・ガス精製〕をそれぞれ①、②、③で記載し、想定自治体 A または B と併記して評価ケースを表す。

表 3-1 焼却施設 建設費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A①	A②③	B①	B②③
直接焼却量 ⁵⁵	t/日	66.8	36.9	33.4	18.5
実稼働率 ⁵⁶		0.77	0.77	0.77	0.77
調整稼働率 ⁵⁶		0.96	0.96	0.96	0.96
余裕率		10%	10%	10%	10%
施設規模	t/日	100	56	50	28
想定発電有無		あり	なし	なし	なし
建設費単価	千円/施設 t	122,308	113,708	-	-
建設費	千円	12,230,769	6,367,670	5,949,079	4,201,095
運転維持費単価	千円/施設 t・年	4,192	5,286	-	-

⁵³ 消費税については、参考資料において税額が分かる場合は税抜で試算を行ったが、不明の場合は記載の額で試算を行った。

⁵⁴ 2013年度以降に新たに供用を開始した焼却施設について、発電付き施設割合は施設規模 25～74t で 16%（37のうち 6 施設）、75～124t で 91%（33のうち 30 施設）であることから、想定自治体 A 〔①従来处理〕は発電付き、それ以外は発電なし施設と想定した。（環境省令和 4 年度一般廃棄物処理実態調査結果より算出 https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r4/index.html）

⁵⁵ し尿処理施設からのし渣等の運搬量は考慮していない。

⁵⁶ 環整 12 号 廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要領の取扱いについて 環境省 1979 年 2 月 14 日 <https://www.env.go.jp/hourei/11/000379.html>

運転維持費	千円/年	419,200	296,016	276,557	195,298
-------	------	---------	---------	---------	---------

(2) し尿処理施設

し尿処理施設のコストを表 3-2 に示す。

表 3-2 し尿処理施設 建設費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A①	B①
処理量(し尿・浄化槽汚泥)	kL/日	72.3	51.1
計画月最大変動係数 ⁵⁷		1.15	1.15
施設規模	kL/日	83.2	58.8
建設費単価	千円/施設 kL	35,304	-
建設費	千円	2,936,176	2,385,079
運転維持費単価	千円/施設 kL	1,165	-
運転維持費	千円/年	96,897	78,711

(3) メタン発酵施設

メタン発酵処理施設のコストを表 3-3 に示す。[②メタン・発電]の発電設備及び[③メタン・ガス精製]のガスホルダ(吸着貯蔵設備)は別途試算を行うことから、それぞれの費用を減算した単価とした。

表 3-3 メタン発酵処理施設 建設費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A②	A③	B②	B③
処理量 (生ごみ・し尿・浄化槽汚泥)	t/日	103.0	103.0	66.7	66.7
実稼働率・調整稼働率 ⁵⁸		0.96	0.96	0.96	0.96
余裕率		10%	10%	10%	10%
施設規模	t/日	123.1	123.1	79.6	79.6
建設費単価	千円/施設 t	15,033	11,772	-	-
建設費	千円	1,850,221	1,448,951	1,425,016	1,115,962
運転維持費単価	千円/施設 t・年	731	707	-	-
運転維持費	千円/年	89,928	86,966	69,261	66,980

⁵⁷ 環整 108 号 廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係る施設の構造に関する基準について 環境省 1979 年 9 月 1 日公布

<https://www.env.go.jp/hourei/11/000373.html>

⁵⁸ 年間 350 日稼働、調整稼働率は焼却施設を参照とする。

(4) バイオガス発電・充電設備 (②メタン・発電)

バイオガス発電設備のコストを表 3-4 に示す。設備は 25kW 級設備を導入するものとした⁵⁹。運転維持費についてはメンテナンス費・電力購入費⁶⁰を算定の対象とした。

表 3-4 バイオガス発電設備 設備+工事費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A②	B②
発生バイオガス量(日)	Nm ³ /日	5,506	2,965
発生バイオガス量(時)	Nm ³ /時	229	124
メタン濃度		60%	60%
発電効率 ⁶¹		32%	32%
想定出力	kW	438	236
発電設備台数(25kW 級)	台	18	10
定格消費電力 ⁶¹	kW	0.62	0.62
稼働時間(年)	h/年	8,400	8,400
消費電力量(年)	kWh/年	93,744	52,080
設備+工事費単価	千円/台	31,404	31,404
設備+工事費	千円	565,272	314,040
メンテナンス費単価	千円/台・年	1,000	1,000
メンテナンス費	千円/年	18,000	10,000
電力購入費単価 ⁶²	円/kWh	26.14	26.14
電力購入費	千円/年	2,450	1,361

EV 車への充電設備のコストを表 3-5 に示す。充電設備は出力 50kW の急速充電器を導入するものとし、付帯設備に係る費用は考慮しないものとした。運転維持費は維持管理に係る費用とした⁶³。

後述するが ((6) 車両 を参照)、生ごみを 2t トラックで収集する場合、想定自治体 A では 11 台、想定自治体 B では 6 台のトラックが必要となる。急速充電器の必要台数は、導

⁵⁹ 試算上単価設定のしやすい 25kW 級としたが、実際の導入に当たってはコストや運用等も含め設置する発電設備の能力・台数の検討が必要である。

⁶⁰ 電力購入費については表 3-3 のメタン発酵処理施設の運転維持費単価に含まれている可能性があるが、公開情報では費用詳細が不明のため、系統電力の購入による追加コストとして試算を行った。

⁶¹ メーカー仕様書参照

⁶² 中国電力 高圧電力 B の電力量単価 12 か月平均 (2023 年 4 月 1 日時点、税抜)

⁶³ 充電設備で使用する電気についてはバイオガス発電による発電電力が消費されるものと想定し算定対象外とした。

入する EV トラックのバッテリー容量を 40kWh⁶⁴とし、収集開始前の 2 時間で充電するものとして算出した。

表 3-5 急速充電器 設備+工事費・維持管理費

想定自治体・処理システム		A②	B②
急速充電器出力	kW	50	50
必要車両台数	台/年	11	6
急速充電器必要台数	台	6	3
急速充電器設備費単価	千円/台	3,300	3,300
設置工事費 1 台目	千円/台	4,000	4,000
設置工事費 2 台目以降	千円/台	2,000	2,000
設備+工事費	千円	33,800	17,900
維持管理費単価	千円/台・年	350	350
維持管理費	千円/年	2,100	1,050

(5) ガス精製・貯蔵・充填設備 (③メタン・ガス精製)

ガス精製・貯蔵・充填設備については、発生バイオガス量から各設備の仕様検討を行い、設備費及び運転維持費の試算を行った。

発生バイオガス及び精製バイオメタン量を表 3-6 に示す。また、ガス精製・貯蔵・充填設備の設備費を表 3-7 に、運転維持費を表 3-8 に示す。

表 3-6 精製バイオメタン量

想定自治体・処理システム		A③	B③
発生バイオガス量(日)	Nm ³ /日	5,506	2,965
発生バイオガス量(時)	Nm ³ /時	229	124
メタン濃度		60%	60%
メタン発酵施設稼働時間(日)	h/日	24	24
メタン発酵施設稼働日数(年)	日/年	350	350
精製バイオメタン量(日)	Nm ³ /日	3,304	1,779
精製バイオメタン量(年)	Nm ³ /年	1,156,245	622,678

⁶⁴ いすゞ自動車(株)HP ELF EV 平ボディ 2t の公開情報を参考に設定

https://www.isuzu.co.jp/product/elf/ev/pdf/ev_bodysoubi.pdf

表 3-7 バイオガス精製・充填設備 設備費

想定自治体・処理システム		A③	B③	想定仕様
精製装置 ⁶⁵	USD	2,100,000	1,800,000	A:250m ³ /h、7800h/y 稼働 消費電力 110kW B:150m ³ /h、7000h/y 稼働 消費電力 75kW
精製装置(参考) ⁶⁶	千円	273,000	234,000	
吸着貯蔵	千円	150,000	121,000	A:貯蔵容量 2000m ³ 充填時間 14h/d 以下となるよう貯蔵 B:貯蔵容量 1500m ³ 充填時間 8h/d 以下となるよう貯蔵
付臭設備	千円	30,000	30,000	規模に関わらずほぼ同じ想定
充填設備	千円	70,000	70,000	A:250m ³ /h、14h/d、350d/y 稼働 消費電力 75kW B:250m ³ /h、8h/d、350d/y 稼働 消費電力 75kW
工事費	千円	166,000	148,000	
合計(参考)	千円	689,000	603,000	

表 3-8 バイオガス精製・充填設備 運転維持費

想定自治体・処理システム		A③	B③	備考
高圧ガス責任者、運転員 人件費	千円/年	8,800	8,800	
バイオガス精製システム メンテナンス費	千円/年	18,254	13,332	点検費、部品交換費
圧縮機 メンテナンス費	千円/年	11,562	6,227	10 円/m ³
保安検査(法定、自主)	千円/年	500	500	
バイオガス精製システムに 使用する電気 購入費	千円/年	22,164	13,564	26.14 円/kWh
バイオガス精製システムに 使用する冷却水 購入費	千円/年	77	69	100 円/m ³ 、0.1m ³ /h
圧縮機で使用する電気 購入費	千円/年	9,067	4,883	26.14 円/kWh
付臭剤 購入費	千円/年	578	311	0.5 円/m ³
合計		71,003	47,687	

⁶⁵ 精製装置は為替の変動に大きく影響を受けるため、US ドルでの試算となっている。

⁶⁶ 130 円/USD とし算出

付臭設備、充填設備は規模に関わらず設備費がほぼ同じ想定となることから、想定自治体 B の設備費は A の約 88% となり、0.6 乗則で試算を行うよりも割高となっている。

(6) 車両

評価範囲で使用する各車両の単価設定及び燃費を表 3-9 に示す。

可燃ごみは 2t パッカー車（ディーゼル車）、生ごみは平ボディ 2t トラック（EV 車・CNG 車）によるバケツ収集を想定した。運転維持費は車両維持管理費・人件費・燃料費を試算の対象とした。

表 3-9 車両 購入費・維持管理費単価、燃費

用途・種類		可燃ごみ収集用	生ごみ収集用	
		パッカー車	トラック ⁶⁷	
燃料種		ディーゼル車	EV 車	CNG 車 ⁶⁸
積載量		2t	2t	2t
車両購入費単価	千円/台	6,948	15,623	6,782
車両維持管理費単価	千円/台・年	514	324	324
人件費単価	千円/人・年	5,870	5,870	5,870
燃費	km/各単位	3.62 km/L	2.18 km/kWh	2.56 km/Nm ³

可燃ごみ収集用パッカー車のコストを表 3-10、生ごみ収集用トラックのコストを表 3-11 に示す。収集はいずれも 1 日 2 往復・週 5 日・年間 51 週とし、1 台当たり 2 名の収集作業員で作業を行うものとした。また可燃ごみと生ごみ収集は同ルートを走行するものとし、1 日 1 台当たりの移動距離は CNG 車の 1 充填の実走航続距離から 90km とした。

表 3-10 可燃ごみ収集用パッカー車 購入費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A①	A②	A③	B①	B②	B③
運搬ごみ量(年)	t/年	24,393	13,486	13,486	12,197	6,743	6,743
パッカー車必要台数	台/年	24	14	14	12	7	7
1 台当たり年間走行距離	km/台・年	22,950	22,950	22,950	22,950	22,950	22,950
総走行距離	km/年	550,800	321,300	321,300	275,400	160,650	160,650
燃料消費量(年)	L/年	152,155	88,757	88,757	76,077	44,378	44,378
車両購入費	千円	166,752	97,272	97,272	83,376	48,636	48,636
車両維持管理費	千円/年	12,343	7,200	7,200	6,171	3,600	3,600

⁶⁷ 生ごみ収集用の EV・CNG トラックの維持管理費については、情報がほとんど得られなかったため、ディーゼルトラックの単価と同等の想定とした。

⁶⁸ CNG トラックの購入費は本実証の実績値とし、燃費は収集作業実績より試算した想定値とした。

人件費	千円/年	281,760	164,360	164,360	140,880	82,180	82,180
燃料費 ⁶⁹	千円/年	22,934	13,378	13,378	11,467	6,689	6,689

表 3-11 生ごみ収集用トラック 購入費・運転維持費

想定自治体・処理システム		A②	A③	B②	B③
車両燃料種別		EV 車	CNG 車	EV 車	CNG 車
運搬生ごみ量(年)	t/年	10,907	10,907	5,453	5,453
トラック必要台数	台/年	11	11	6	6
1 台当たり年間走行距離	km/台・年	22,950	22,950	22,950	22,950
総走行距離	km/年	252,450	252,450	137,700	137,700
燃料消費量(年) ⁷⁰	/年	128,670 kWh	98,613 Nm ³	70,183 kWh	53,789 Nm ³
車両購入費	千円	171,853	74,602	93,738	40,692
車両維持管理費	千円/年	3,562	3,562	1,943	1,943
人件費	千円/年	129,140	129,140	70,440	70,440

以上より車両コストをまとめると表 3-12 の通りである。

表 3-12 車両コストまとめ

想定自治体・処理システム		A①	A②	A③	B①	B②	B③
【車両必要台数】							
パッカー車	台	24	14	14	12	7	7
トラック	台	-	11	11	-	6	6
【車両購入費】							
パッカー車	千円	166,752	97,272	97,272	83,376	48,636	48,636
トラック	千円	-	171,853	74,602	-	93,738	40,692
合計	千円	166,752	269,125	171,874	83,376	142,374	89,328
【車両運転維持費】							
パッカー車	千円/年	317,037	184,938	184,938	158,518	92,469	92,469
トラック	千円/年	-	132,702	132,702	-	72,383	72,383
合計	千円/年	317,037	317,640	317,640	158,518	164,852	164,852

[②メタン・発電] では生ごみ収集用 EV トラックが 1 台当たり 1,500 万円を超えることから車両購入費が高額となるが、運転維持費については大きな差はない結果となった。

⁶⁹ 軽油価格 150.7 円/L とする（軽油小売価格の全国平均（2023 年 9 月 6 日時点） 資源エネルギー庁 石油製品価格調査）。

⁷⁰ EV 車の急速充電器の効率を 90% とする。

（㈱東光高岳 HP <https://www.tktk.co.jp/product/ev/quickcharger/>）

(7) 長期コスト試算

各施設設備の建設費及び運転維持費を基に、20年間の長期コストの試算を行った。試算条件は以下の通りとした。

【試算条件】

- ・ 施設（焼却施設、し尿処理施設、メタン発酵処理施設）の大規模修繕・改良工事は、20年間は考慮しない。
- ・ 下記設備は想定寿命経過後に更新（買替）を行う。但し、更新時の維持費低減は考慮しない。
 - 発電設備…15年更新⁷¹
 - 充電設備…8年更新⁷²
 - 車両 …ディーゼルパッカー車・CNGトラック：9年更新（想定寿命20万km（8.7年で到来））
 - EVトラック：8年更新⁷³
- ・ 物価変動、人口増減、交付金等は考慮しない。

環境省の資料によると、現在稼働中の施設について、稼働年数が20年を超える焼却施設の延命化事業実施実績は26%（稼働終了時の平均供用年数30.5年）⁷⁴、し尿処理施設は7%（同32.7年）⁷⁵となっていることから、20年間は大規模修繕・改良工事を行わないものとし、メタン発酵処理施設も同様と想定した。

本試算では各施設や導入設備の設計は行っていないことから、定期的な修繕や部品交換等により維持を行いその費用は運転維持費に含まれるものと想定した。メーカー等により設備寿命等が示されている発電・充電設備については寿命到来後に更新を行うものとした。

また車両について、2t以下の塵芥車の耐用年数は3年とされている⁷⁶が、一般的に更新の目安とされることの多い累計走行距離20万kmまで使用するものとした。但し、EVトラ

⁷¹ バイオガスコージェネレーションシステムの保守メンテ契約は最長15年であることから想定
（ヤンマーホールディングス㈱HP https://www.yanmar.com/media/news/2019/04/28081602/bp25d2_202402.pdf）

⁷² 急速充電器の期待寿命は8年（㈱東光高岳HP <https://www.ttkk.co.jp/faq/ev/quickcharger-common/>）

⁷³ Sサイズバッテリー（41kW）補償は最長8年・20万kmまで（20万kmより先に8年到来）
（三菱ふそうトラック・バス㈱HP https://www.mitsubishi-fuso.com/wp-content/uploads/2022/09/eMobility_Leaflet_JP.pdf）

⁷⁴ 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き（ごみ焼却施設編）より算出（環境省 2021年3月 https://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/7_misc/gl-ple_prov.pdf）

⁷⁵ 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き（し尿処理施設・汚泥再生処理センター編）より算出（環境省 2021年3月 https://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/7_misc/gl-ple_hw.pdf）

⁷⁶ 東京都主税局HP
https://www.tax.metro.tokyo.lg.jp/shisan/info/hyo01_07.pdf

ックについては、メーカーによってはバッテリー補償期間が定められていることから、補償期間を参考に 8 年で更新する設定とした。

表 3-13 に想定自治体 A、表 3-14 に想定自治体 B の長期コストを示す。経過年 0 年目で施設建設を行うものとして、稼働後 1～20 年間の各年コストを記載した。

表 3-13 長期コスト (想定自治体 A)

施設設備	費目	条件	経過年(0年目で建設、稼働後20年間の試算)																				計			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20		
焼却施設	建設費		12,231																				12,231			
	運転維持費		419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	8,384		
	建設費		2,936																					2,936		
	運転維持費		97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	1,938		
車両	設備費	9年更新	167																					167		
	設備費		305	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	317	500		
果糖計	建設費		15,334	16,154	16,988	17,821	18,654	19,487	20,320	21,153	21,986	22,820	23,653	24,486	25,319	26,152	27,005	27,818	28,651	29,485	30,485	31,484	32,318	32,318		
	運転維持費																									
②メタン・発電																										
焼却施設	建設費		6,368																					6,368		
	運転維持費		296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	5,920	
	建設費		1,850																						1,850	
	運転維持費		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	1,799	
発電設備	設備費	15年更新	565																						565	
	設備費		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	409	
充電設備	設備費	8年更新	34																						34	
	設備費		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	101	
車両	設備費	ハ9-EV/8年更新※	269																						269	
	設備費		307	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	807	
果糖計	建設費		9,086	9,801	10,528	11,254	11,980	12,706	13,432	14,158	14,884	15,610	16,336	17,062	17,788	18,514	19,240	19,966	20,692	21,418	22,144	22,870	23,596	24,322	24,322	
	運転維持費																									
③メタン・ガス精製																										
焼却施設	建設費		6,368																						6,368	
	運転維持費		296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	5,920	
	建設費		1,449																							1,449
	運転維持費		87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	1,739
精製・充填設備	設備費		689																						689	
	設備費		71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	1,420	
車両	設備費	ハ-CNG/9年更新※	172																						172	
	設備費		307	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	807	
果糖計	建設費		8,677	9,438	10,210	10,982	11,753	12,525	13,296	14,068	14,840	15,611	16,383	17,154	17,926	18,698	19,470	20,242	21,014	21,786	22,558	23,330	24,102	24,874	24,874	
	運転維持費																									

※ハ-CNG/9年更新※、EV/8年更新※、CNG/9年更新※、CNG/9年更新※

表 3-14 長期コスト（想定自治体 B）

想定自治体B(48,500人)
①廃棄処理

施設設備	費目	条件	経過年(0年目で建設、稼働後20年間の試算)																				計		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20	
焼却施設	建設費		5,949																						
	運転維持費			277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	5,949
	建設費		2,385																						
	運転維持費			79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	2,385
車両	設備費	9年更新	83																						83
	運転維持費			152	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	3,164
累積計			8,418	8,925	9,439	9,953	10,467	10,980	11,494	12,008	12,522	13,035	13,633	14,146	14,660	15,174	15,688	16,202	16,715	17,229	17,743	18,340	18,854	18,854	18,854

②メタン・発電

焼却施設	建設費		4,201																						
	運転維持費			195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	4,201
	建設費		1,425																						
	運転維持費			69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	1,425
発電設備	設備費	15年更新	314																						314
	運転維持費			11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	628
充電設備	設備費	8年更新	18																						18
	運転維持費			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	54
車両	設備費	ハ9・EVt8年更新※	142																						142
	運転維持費			159	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	427
累積計			6,100	6,537	6,979	7,420	7,862	8,304	8,746	9,188	9,629	10,183	10,673	11,115	11,557	11,999	12,441	12,882	13,324	13,765	14,206	14,647	15,088	15,529	

③メタン・ガス精製

焼却施設	建設費		4,201																						
	運転維持費			195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	4,201
	建設費		1,116																						
	運転維持費			67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	1,116
精製・充填設備	設備費		603																						603
	運転維持費			48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	954
車両	設備費	ハ・CNGt9年更新※	89																						89
	運転維持費			159	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	288
累積計			6,009	6,479	6,953	7,428	7,903	8,378	8,853	9,328	9,802	10,277	10,841	11,316	11,791	12,266	12,741	13,215	13,690	14,165	14,640	15,115	15,590	15,590	

※ハ・ハ・ハッカー車、EVt・EVtトラック、CNGt・CNGtトラック

稼働後 20 年間のコスト合計は、想定自治体 A で [③メタン・ガス精製]、B で [②メタン・発電] が最も低い値となり、いずれも [①従来处理] が最も高額となった。[③メタン・ガス精製] は [②メタン・発電] と比較し単年度の運転維持費が高いが、導入規模によっては長期的にはコストが抑えられる結果となった。

3.2.2 CO₂ 排出量試算

(1) 算定対象及び各種係数

CO₂ 排出量の試算対象は、フロー図 (図 2-4～図 2-6) の評価範囲にある施設設備からの排出量及びシステム外へのエネルギー供給による削減可能量とした。算定対象となる活動及び使用する各種係数については、環境省温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度⁷⁷に従うものとした。系統から購入する電気の排出係数については 2023 年度算定用代替値である 0.000429tCO₂/kWh を使用した。各施設での電気や燃料等のエネルギー使用量は公開・公表資料を参考に算出を行った。

(2) 焼却施設

各ケースの焼却施設における CO₂ 排出量を表 3-15 に示す。算定対象は、一般廃棄物の焼却、電気の使用、燃料 (助燃剤としての灯油) の使用とした。

表 3-15 焼却施設 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A①	A②③	B①	B②③
【一般廃棄物の焼却】					
焼却ごみ年間量	t/年	24,393	13,486	12,197	6,743
内 合成繊維の焼却量	t/年	419	419	210	210
内 プラスチックの焼却量	t/年	2,908	2,908	1,454	1,454
内 紙くずの焼却量	t/年	3,575	3,575	1,788	1,788
内 紙おむつの焼却量	t/年	367	367	183	183
一般廃棄物の焼却による排出量	tCO ₂ /年	247	137	124	68
合成繊維の焼却による排出量	tCO ₂ /年	969	969	484	484
プラスチックの焼却による排出量	tCO ₂ /年	8,025	8,025	4,013	4,013
紙くずの焼却による排出量	tCO ₂ /年	515	515	257	257
紙おむつの焼却による排出量	tCO ₂ /年	447	447	224	224
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	10,203	10,093	5,102	5,046
【電気の使用】					
消費電力量	kWh/年	6,561,749	3,627,821	3,280,875	1,813,910

⁷⁷ 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 環境省

<https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/index.html>

発電電力量	kWh/年	8,220,481	-	-	-
買電電力量	kWh/年	-	3,627,821	3,280,875	1,813,910
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	0	1,556	1,407	778
【燃料(助燃剤)の使用】					
燃料(灯油)使用量	kL/年	30.1	16.6	15.0	8.3
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	75	42	38	21
CO ₂ 排出量合計	tCO ₂ /年	10,278	11,691	6,547	5,845

想定自治体 A の [①従来处理] は、発電設備を有し発電電力の場内利用を行う想定としている。発電電力量が消費電力量を上回ることから、電気の使用による CO₂ 排出量は 0 とした。ごみ焼却量は最も多いが、CO₂ 排出量は他システムよりも低い結果となった。

(3) し尿処理施設

し尿処理施設の CO₂ 排出量を表 3-16 に示す。算定対象は、し尿・浄化槽汚泥の処理、電気の使用とした。処理方法は、膜分離高負荷脱窒素方式を想定した。

表 3-16 し尿処理施設 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A①		B①	
		し尿	浄化槽 汚泥	し尿	浄化槽 汚泥
処理量(年)	kL/年	14,584	11,813	10,410	8,258
処理量合計(年)	kL/年	26,397		18,668	
【し尿・浄化槽汚泥の処理】					
収集し尿中の全窒素 ⁷⁸	mg/L	2,700		2,700	
収集浄化槽汚泥中の全窒素 ⁷⁸	mg/L	580		580	
全窒素	tN/年	46.2		32.9	
CH ₄ 排出量	tCH ₄ /年	0.15		0.10	
N ₂ O 排出量	tN ₂ O/年	0.11		0.08	
CO ₂ 換算排出量	tCO _{2e} /年	33		24	
【電気の使用】					
電気使用量	kWh/年	1,821,411		1,288,079	
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	781		553	
CO ₂ 排出量合計	tCO ₂ /年	815		576	

⁷⁸ 岡崎貴之ら し尿処理施設の精密機能検査にみる運転実績の現状について (第 4 報) 日本環境衛生センター所報 No.28 2001

<https://www.jesc.or.jp/Portals/0/center/library/shoho/H12shoho6.pdf>

(4) メタン発酵処理施設

メタン発酵処理施設の CO₂ 排出量を表 3-17 に示す。算定対象は電気の使用とし、汚泥処理プロセスでの CH₄、N₂O の排出⁷⁹及び施設からのオフガスは考慮しないものとした。

表 3-17 メタン発酵処理施設 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A②③	B②③
処理量(年)	t/年	37,596	24,329
電気使用量	kWh/年	1,879,787	1,216,471
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	806	522

メタン発酵処理施設からの排出量は、想定自治体 A、B ともし尿処理施設と大きな差はない結果となった。

(5) バイオガス発電・充電設備 (②メタン・発電)

バイオガス発電設備の CO₂ 排出量を表 3-18 に示す。算定対象は設備の稼働に必要な電気の使用とした。消費電力量は表 3-4 で試算した通りである。

表 3-18 バイオガス発電設備 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A②	B②
消費電力量	kWh/年	93,744	52,080
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	40	22

(6) ガス精製・貯蔵・充填設備 (③メタン・ガス精製)

ガス精製・充填設備の CO₂ 排出量を表 3-19 に示す。算定対象は設備の稼働に必要な電気の使用とし、想定稼働時間より算出を行った。

表 3-19 ガス精製・充填設備 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A③	B③
精製設備 消費電力量	kWh/年	847,913	518,899
精製設備 CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	364	223
充填設備 消費電力量	kWh/年	346,874	186,803
充填設備 CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	149	80
CO ₂ 排出量合計	tCO ₂ /年	513	303

⁷⁹ 環境省資料より

https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/methodology/methodology_5B2_2019.pdf

(7) 車両

可燃ごみ収集用パッカー車の CO₂ 排出量を表 3-20 に示す。燃料消費量は表 3-10 で試算した通りである。生ごみ収集用トラックはバイオガス発電電力または精製バイオメタンを使用しているため、CO₂ 排出はないものと想定した。

表 3-20 可燃ごみ収集用パッカー車 CO₂ 排出量

想定自治体・処理システム		A①	A②	A③	B①	B②	B③
燃料消費量	L/年	152,155	88,757	88,757	76,077	44,378	44,378
CO ₂ 排出量	tCO ₂ /年	399	233	233	199	116	116

(8) システム外供給

システム外供給を行うのは以下のケースである。

- ・ 想定自治体 A [①従来处理]
ごみ発電電力を場内利用、余剰電力を供給
(※想定自治体 B では焼却施設でごみ発電を行わない)
- ・ 想定自治体 A・B [②メタン・発電]
バイオガス発電電力をシステム内の車両で利用、余剰電力を供給
メタン発酵消化液の液肥利用
- ・ 想定自治体 A・B [③メタン・ガス精製]
精製バイオメタンをシステム内の車両で利用、余剰ガスを供給
メタン発酵消化液の液肥利用

電力供給の場合は、システム外への供給電力が系統からの購入電力を代替するものとして CO₂ 削減可能量の評価を行った。

精製バイオメタン供給の場合は、供給後は様々な利用用途が想定されるが、本試算では供給熱量を都市ガスまたは軽油相当に換算し評価を行った。

液肥利用については (9) 液肥利用に記載する。

各ケースのシステム外供給による CO₂ 削減可能量を表 3-21～表 3-23 に示す。[①従来处理] の発電量と場内利用量は表 3-15、[②メタン・発電] [③メタン・ガス精製] の車両利用量は表 3-11 で試算した通りである。

表 3-21 ①従来处理 CO₂ 削減可能量

想定自治体・処理システム		A①	B①
発電量	kWh/年	8,220,481	-
場内利用量	kWh/年	6,561,749	-
システム外供給量	kWh/年	1,658,732	-

CO ₂ 削減可能量	tCO ₂ /年	712	-
-----------------------	---------------------	-----	---

表 3-22 ②メタン・発電 CO₂ 削減可能量

想定自治体・処理システム		A②	B②
発電量	kWh/年	3,780,000	2,100,000
車両利用量	kWh/年	128,670	70,183
システム外供給量	kWh/年	3,651,330	2,029,817
CO ₂ 削減可能量	tCO ₂ /年	1,566	871

表 3-23 ③メタン・ガス精製 CO₂ 削減可能量

想定自治体・処理システム		A③	B③
精製バイオメタン量	m ³ /年	1,156,245	622,678
車両利用量	m ³ /年	98,613	53,789
システム外供給量	m ³ /年	1,057,632	568,889
メタン濃度 ⁸⁰	%	95.0%	95.0%
年間発熱量	MJ/年	39,989,071	21,509,700
CO ₂ 削減可能量(都市ガス代替)	tCO ₂ /年	2,049	1,102
CO ₂ 削減可能量(軽油代替)	tCO ₂ /年	2,757	1,483

CO₂ 削減可能量は [③メタン・ガス精製] の軽油代替の場合で最大となった。[②メタン・発電] では約 6 割程度の削減可能量となった。

[②メタン・発電] [③メタン・ガス精製] について、熱量換算した場合のエネルギー収支を表 3-24 に示す。

表 3-24 熱量換算によるエネルギー収支

想定自治体・処理システム		A②	A③	B②	B③
発電量/精製バイオメタン量	GJ/年	13,608	43,718	7,560	23,543
車両利用量	GJ/年	463	3,729	253	2,034
システム外供給量	GJ/年	13,145	39,989	7,307	21,510

[③メタン・ガス精製] は [②メタン・発電] と比較してエネルギー生成量は約 3 倍、車両利用量は約 8 倍、システム外供給量は約 3 倍であった。

[②メタン・発電] ではバイオガス発電設備の効率が 32% であるため発電時に約 1/3 がエネルギーロスとなる。一方で車両利用量は表 3-9 で燃費設定した通り (EVトラック

⁸⁰ 精製バイオメタンの目標最低濃度を 95.0% と設定

2.18km/kWh、CNG トラック 2.56km/Nm³) であり、熱量換算では CNG トラックは EV トラックの約 8 倍の熱量が必要となる。今回の試算ではシステム内で利用する車両台数が必要分に限られていることから、システム外供給量は [③メタン・ガス精製] が多く、CO₂ 削減可能量も大きい結果となった。

(9) 液肥利用

メタン発酵処理の残渣である消化液をシステム外の農地で液肥として利用する場合の CO₂ 削減可能量を表 3-25 に示す。発生する消化液は原料とほぼ同量とし、化学肥料である尿素肥料を農作物に施肥した場合の代替量として試算を行った。

表 3-25 液肥利用による CO₂ 削減可能量

想定自治体・処理システム		A②③	B②③
液肥生成量(年)	t/年	37,596	24,329
消化液中の全窒素% ⁸¹	wt%	0.32%	0.32%
全窒素	tN/年	120	78
化学肥料代替量 ⁸²	t/年	262	169
CO ₂ 削減可能量	tCO ₂ /年	191	124
N ₂ O 削減可能量	tN ₂ O/年	1.2	0.8
CO ₂ 削減可能量合計	tCO ₂ /年	500	324

⁸¹ 真庭市におけるバイオ液肥分析結果（2024年2月）の値を使用した。

⁸² 尿素肥料中の窒素含有率を46%とした。

3.3 フロー図 (数値入り)

(1) 想定自治体 A

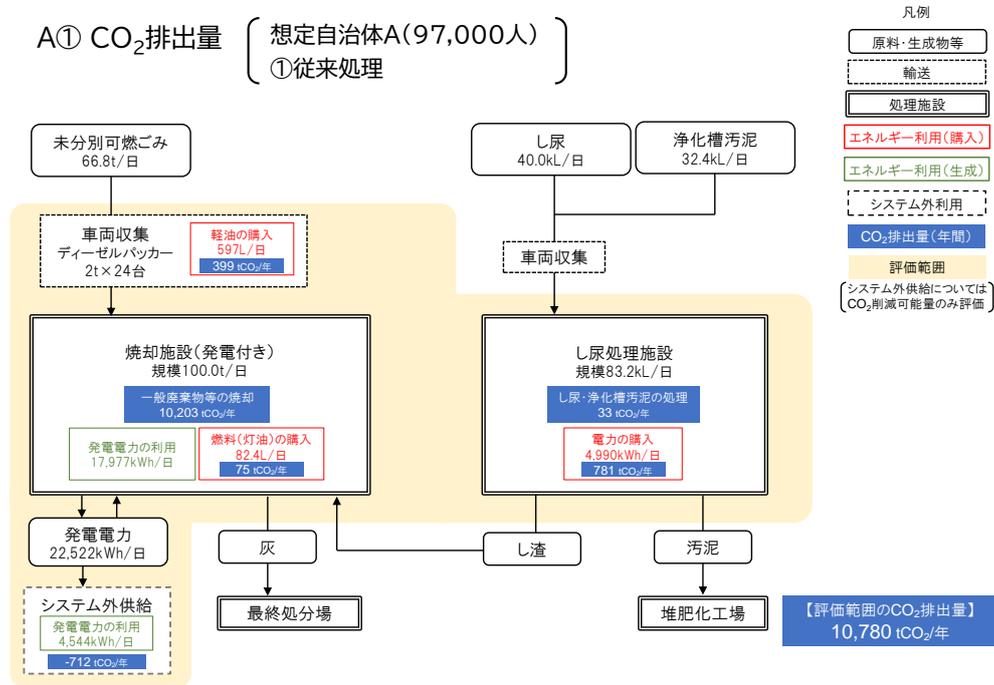


図 3-1 ①想定自治体 A [①従来处理]

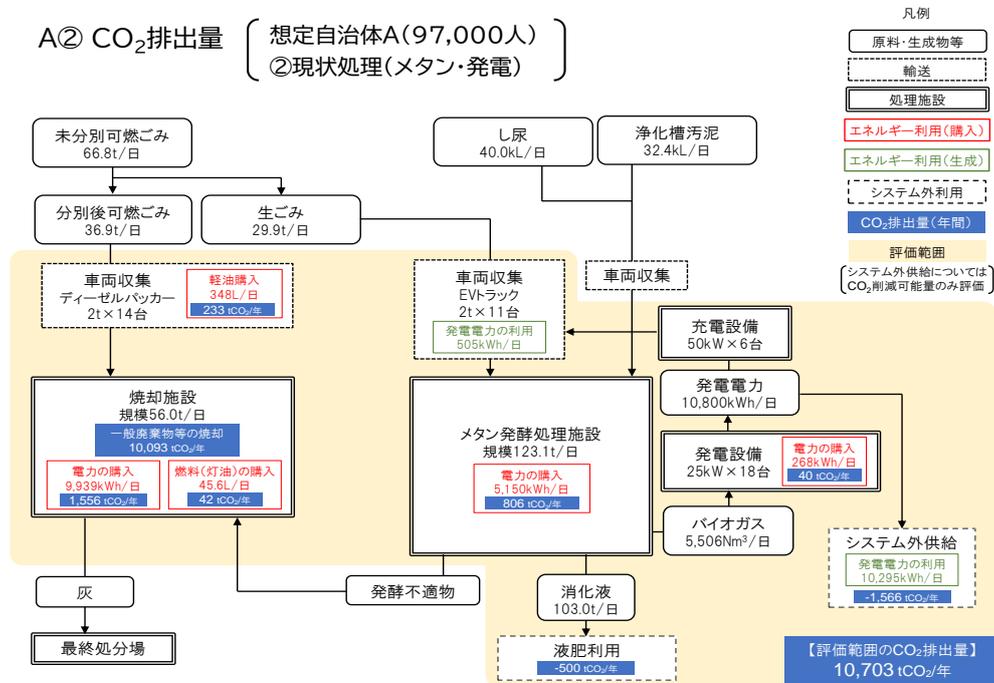


図 3-2 想定自治体 A [②メタン・発電]

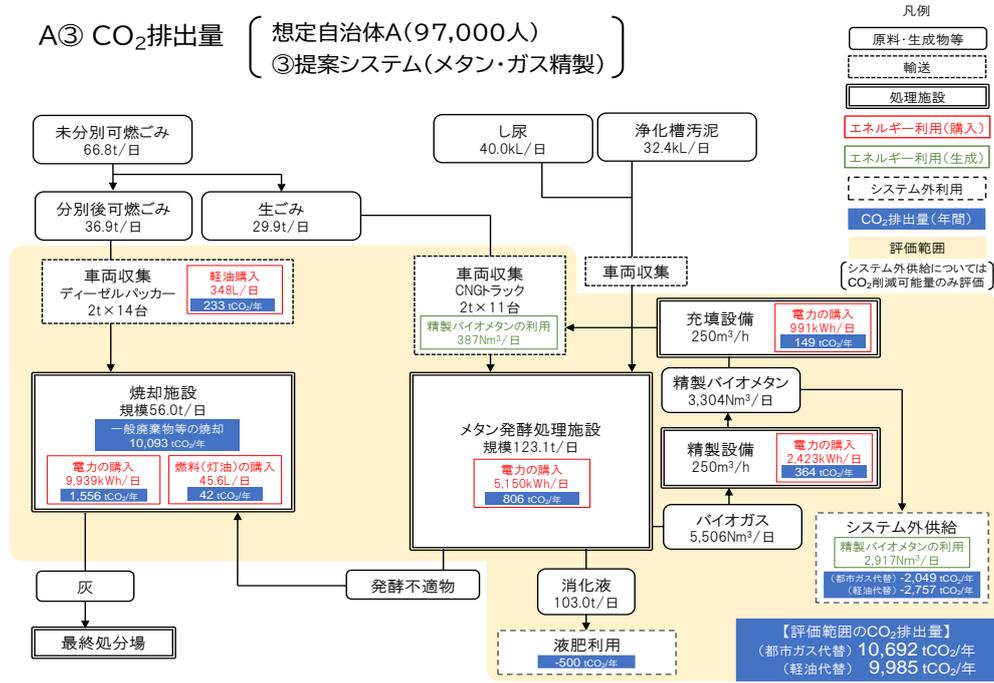


図 3-3 想定自治体 A [③メタン・ガス精製]

(2) 想定自治体 B

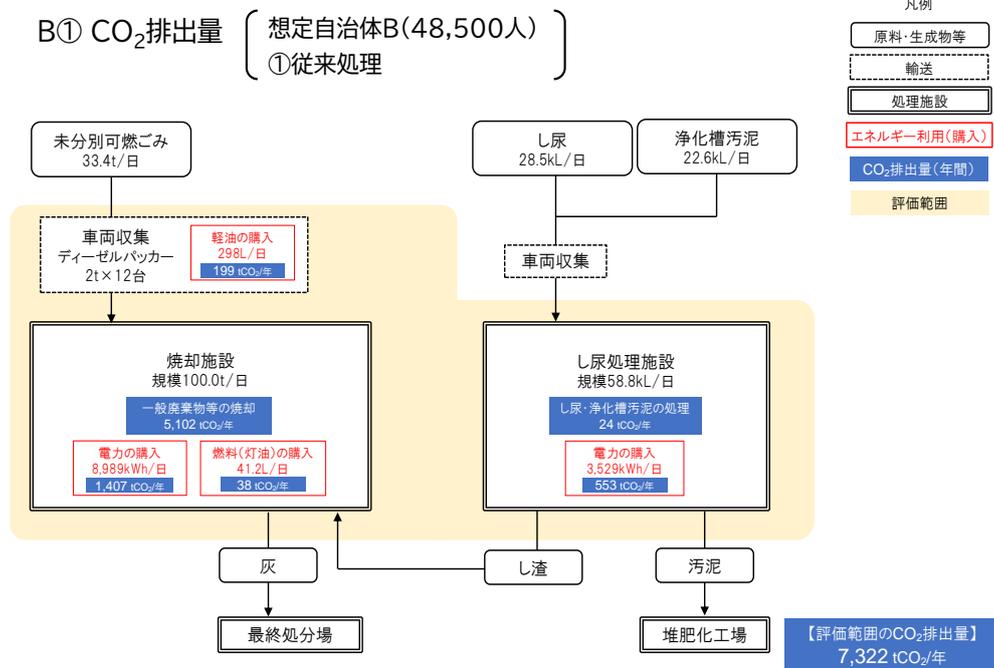


図 3-4 想定自治体 B [①従来処理]

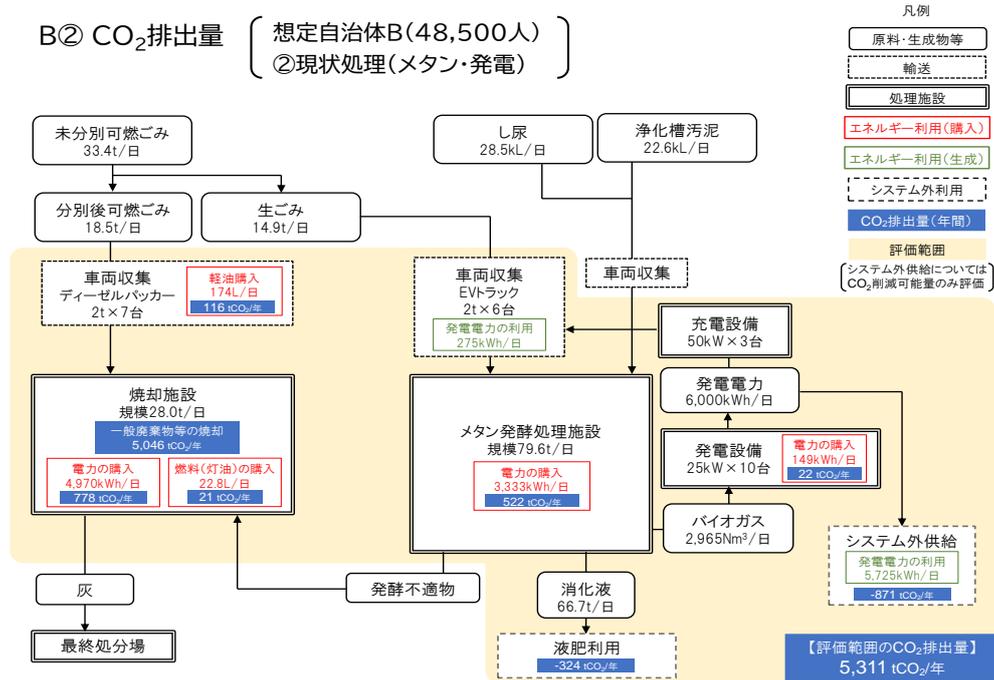


図 3-5 想定自治体 B [②メタン・発電]

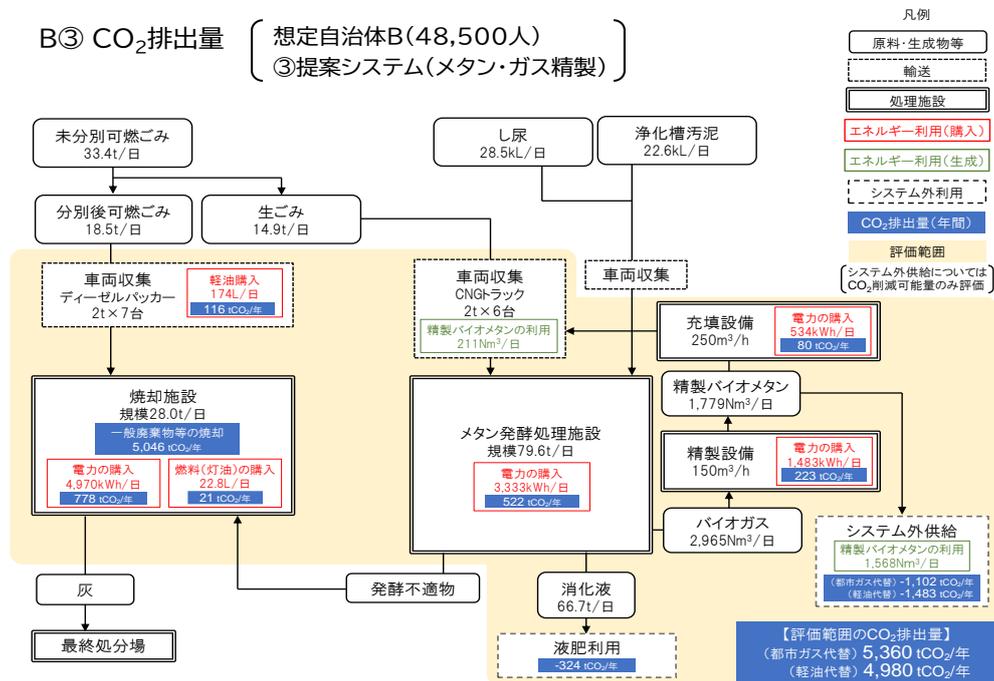


図 3-6 想定自治体 B [③メタン・ガス精製]

3.4 海外動向視察報告

フランス・ドイツ視察報告

1. 視察報告

視察先	Carrefour (Carrefour Banque Paris Auteuil) (フランス)
概要	フランスの大手スーパーの1店舗(フランス市内)を訪問、ヒアリング カルフルは世界 40 か国で 14,000 店舗を展開するスーパー。フランス国内では 5,800 以上の店舗がある。
取り組み概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ カルフルは、2013年～2014年にバイオメタンをトラック燃料として使用する実証を行い、その後、バイオメタン燃料のトラックを順次導入。2022年末の時点では750台の物流トラックがバイオメタン燃料となっている。 ・ 今後、さらなるバイオメタンへの切り替えを進めて2030年までにディーゼル車を完全にフェーズアウトする計画。 ・ バイオメタンの原料となるのは店舗の売れ残りや廃棄の食品。
政策的背景	<ul style="list-style-type: none"> ・ フランスでは2016年に世界初となる「食品廃棄禁止法」が制定。 ・ 店舗面積が400平方メートル以上のスーパーは売れ残った食品を廃棄することが禁止されている。 ・ 売れ残った食品は慈善団体に寄付するか、飼料、肥料等に再利用することが義務付けられており、違反した場合は廃棄量に合わせて罰金を課される。
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<p>店舗での取り組み開始時期等については、現店長が担当したときすでに開始していたのでいつからか不明とのこと。店舗での売れ残り等処分品は週に数回、回収されていく。回収先としてはまず契約しているフードバンク等の組織が必要な食品を選別し、回収。その後の残りはすべてエネルギー化のため回収となる。</p> <p>廃食油についても別途回収されている。</p>

写真等



店舗外観



店内(量り売りが多い)



廃食油の容器



売れ残り等



売れ残り等

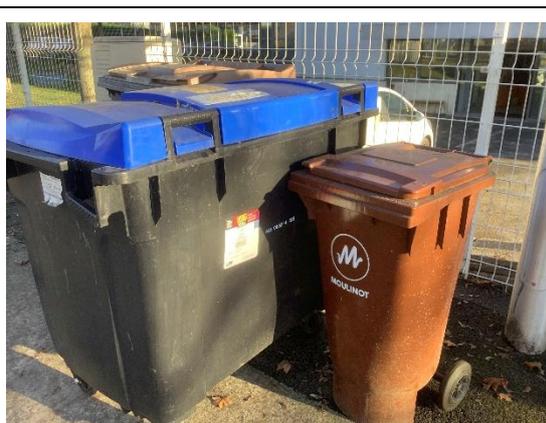


売れ残り等

視察先	Moulinot Compost & Biogaz 本社(フランス)
取り組み概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 契約先レストランから食品廃棄物を収集・破砕・前処理し、提携農家のバイオガスプラントでバイオガス化。ガス精製し車両に利用している。
政策的背景	<ul style="list-style-type: none"> ・ フランスの「食品廃棄禁止法」では、年間 10 トン以上の食品廃棄物を出すレストランは、2016 年 1 月から食品廃棄物のリサイクルが義務付けられる等、リサイクルの推進が求められている。
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2013 年に料理人が取り組みをはじめ、現在の契約先は 2,000 以上(レストラン、野外市場、自治体等)。 ・ 収集トラックは小型と大型の 2 種類あり、両方がバイオメタンを燃料として使用。 ・ 視察した事業所では原料はパリ市内で収集し、破砕、加熱殺菌(70 度 1 時間)をしたのちに郊外の提携農家(バイオガスプラントのある農場)へ運搬しガス化→精製→グリッドへ供給される。原料の受け入れ量はこの事業所だけで 25,000t/年程度。 ・ このほかにも事業所があり国内 4 か所で処理を行っている(内、1 か所はバイオガス化も実施している)。 ・ 車両燃料については、給ガスステーションで充填。プラントでの発生ガス量(グリッドへの注入量)がわかるため利用した分を相殺し、余剰分を売却する仕組みとなっている。 ・ 発酵残渣については肥料として農家に利用されている。
写真等	
	
<p>収集車両 (燃料はバイオメタン・バケツが反転可能)</p>	<p>小型収集車両(燃料はバイオメタン)</p>



前処理後のスラリー貯蔵タンク



生ごみ専用の収集バケツ



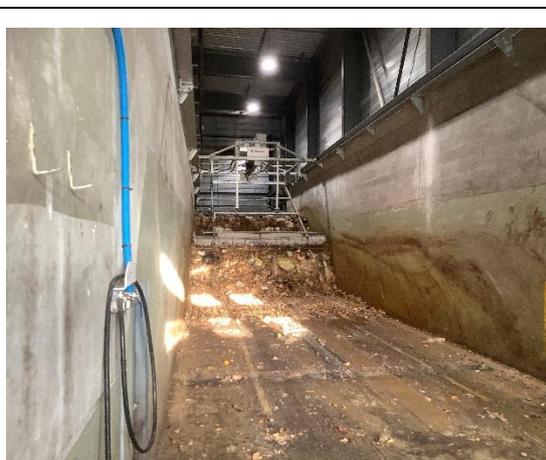
施設内のバイオメタン充填所



施設内



受入ごみ



受入ごみ用レーン

視察先	AVALLON BIO ENERGIE (フランス)
概要	ガス精製とグリッドへの供給・販売を行っているプラントの視察
取り組み概要	<ul style="list-style-type: none"> 畜産系廃棄物や食品残渣を利用したバイオガスプラントで、ガス精製を行っている。
政策的背景	<ul style="list-style-type: none"> バイオメタンの固定価格買い取り制度がある。
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> 農家 2 軒が共同で設立したバイオガスプラントで、avallon 市のグリッドに精製ガス(バイオメタン)を供給している。事業開始は 2023 年 1 月。 精製ガスの供給量は 180Nm³/h。冬場の方が需要が大きい(400Nm³/h)が夏場は町の需要のほとんどを同社のバイオメタンが賄っている。販売先は GRDF(フランスのガス導管事業者)。 供給に関してはメタン濃度が 96.5%以上という規定があり、付臭後に 16 気圧まで昇圧して接続。 精製方法は膜分離。精製技術としては膜分離が多い。 受入原料は牧場の残渣、ソルゴーやコーン等のエネルギー作物、紙、事業系食品系廃棄物。事業系の食品廃棄物には肉等も含むため破碎後に 70 度 1 時間の殺菌をする。これは規定になっている。牛糞については投入原料に含めていない(牛糞も加熱殺菌をするとエネルギー収支が悪化するため)。規定の策定前に稼働開始したプラントでは殺菌工程は不要。 ソーラーパネルも 200kW 設置、雨水タンクを設置する等エネルギーや水の自給率を高めている。 農家では畜産系廃棄物の課題があり、国の支援もあるため、農家がバイオメタン事業を開始するケースが増加している。 現在は売電への補助はすでにないため、バイオメタン販売の方が採算性が良い。

写真等



外観



全体図



原料



ヒアリングの様子



施設内



ガス精製ユニット内



発酵槽



微細プラ除去装置

視察先	パリ市内（フランス）
概要	生ごみ分別の現状ヒアリング
取り組み概要	<ul style="list-style-type: none"> パリ市内では一般市民や小規模レストランでも生ごみ分別排出やコンポスト化を実施している。パリは人口約 210 万人。
政策的背景	<ul style="list-style-type: none"> 2024 年 1 月よりすべての国民に生ごみの分別を義務付け。
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> パリ市内では、集合住宅単位でのコンポストや分別用のごみ箱等が設置されている。 コンポストはそれぞれが管理し、利用も住民が行っている。 分別ごみ箱についてはオンラインのマップで位置等が確認可能である。 パリ以外では、自治体の取り組みに差があり分別を開始していない自治体もある。

写真等



食品廃棄物用のごみ箱



奥が食品廃棄物用



生分解性、またはクラフトの紙袋入りであれば袋ごと投入可能



集合住宅に設置されているコンポスト

視察先	ガスステーション他(フランス パリ市内)
概要	給ガスステーションの視察、パリ市内の車両への利用状況等
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ バイオメタンと一般的な CNG を両方供給しているステーションがあるようにマップ上では確認できたが、実際にはどちらか一方のみを供給しているようであった(bioCNG のみ価格が出ている、またはその逆)。 ・ 視察した給ガスステーションの比較では、bioCNGの方が0.3€/kg程度価格が高い。 ・ 給ガスはすべてガスグリッドからの様子。 ・ 市内にも100%バイオメタンと記載のバスやCNGのトラック、バス等が走行している。一般車両(自家用車)ではなく、バスやトラック等で使われていることが多く、郊外の物流センターがあるエリアや工場地帯に給ガスステーションが多い。
写真等	
	
<p>CNGの充填ステーション (GNCがフランス語でCNGの意味) 1.654€/kg</p>	<p>大手スーパーチェーンのトラックが給ガスしているところ トラックにも天然ガストラックであることが記載されている</p>



バイオ CNG の価格 1.951€/kg



給ガスステーション



給ガス機



給ガス中のトラック



一般のガソリンステーションでも、E10～E85 等が販売されている



バイオメタン 100%のバス



100%ガスと記載されているバス(バイオメタンではないと思われる)

視察先	Feldheim(フェルトハイム村) (ドイツ)
概要	ドイツで初めてエネルギー自給自足を達成した村として風力発電、メタン発酵、太陽光等各種の再エネ事業に取り組んでいる
取り組み概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1995 年から風力発電事業を開始。バイオガスについては 2004 年に農業協同組合を設立。 ・ 1,700ha の面積で、ジャガイモ、てんさい、穀物等を栽培しており、牛・豚も飼育。メタン発酵プラントでは畜産系廃棄物とエネルギー作物を使って発電・熱供給後に液肥を農地還元している。
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 村内の電気の供給に関しては自営線を引いており、電気料金は基本料金が 5.95€, 単価が 12 セント/kWh となっている(ベルリン等での一般家庭の電気代と比較しても基本料金が半分程度、単価は 1/3 以下) ・ バイオガスは発電機(526kW)で利用。売電しているほか、熱供給を行っている。熱供給の導管は 3,000 メートル、村内の家庭 35 軒、1 店舗、2 公共施設に熱供給を行っている。冬季のみ熱量が不足するため外気温がマイナス 5 度以下になると追加の熱供給用に木質ペレットボイラーを稼働する。熱料金は基本料金が供給用の出口数×5.95€, 単価は 12 セント/kWh となっており、エネルギーコストが他地域に比較して安価。価格は 2008 年から改定していない。 ・ 新しく蓄電設備等も設置している。蓄電池についてはブランデンブルク州からの補助(REN Plus Programm)が 40%入っている。
写真等	
	
研修室での説明の様子	バイオガス施設(Feldheim 村提供資料より)



発酵槽



熱導管のサンプル



コーンサイレージ
(飼料用とバイオガス用で利用している)



コーンサイレージ



村内の農業者の液肥散布車

視察先	BSR(ベルリン清掃局) (ドイツ) ヒアリングは BSR が運営するリサイクルモール内で実施
取り組み概要	ベルリン市内から収集するごみを、バイオガス化し、精製ガスを収集車の燃料として使用
政策的背景	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドイツの燃料販売事業者は 2030 年までに燃料からの温室効果ガスを 25%削減する割り当て義務がある。バイオ燃料、グリーン水素、電気自動車用の電気の使用等、さまざまな履行オプションがある。BSR では排出割当量の販売でも収益を得ている。 ・ (燃料の温室効果ガス削減に関するさらなる規定を確立する条例 38. BImSchV / RED II)
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ レストランや一般家庭からの生ごみを収集する収集箱がある。他剪定枝等もある。 ・ ガスはメタン濃度 95%以上まで精製する。精製ガスはグリッドに供給している。 ・ 収集車両 300 台の内、現在は 175 台がバイオメタン利用車両。 ・ 年間のごみは現在約 7 万トン/年。これ以上ごみが増えるとバイオガス化施設を増やさないといけないので判断が難しい。 ・ かつては有機性ごみを約 1 時間かけてブランデンブルクまで運搬し、たい肥化をしていたが、うまくたい肥化ができず対策としてバイオガス化に踏み切った。 ・ 液肥は郊外の圃場で利用されている。 ・ 燃料代替、熱や電気の自給率向上による費用削減のほか、バイオメタンの販売や排出割当量の販売等が収益となっている。管理は Nabisy というシステムで可能である。 ・ Nochmall(リサイクルセンター)は、開設してから 5 年経過、ベルリン清掃局の子会社として運営している。この施設は従業員の給与を小売店と同等にしており、販売員も専門スタッフを雇用している。年間に約 120 回のイベントを実施しており、リペアやアップサイクルのワークショップを通じて捨てる以外の選択肢の提供、大切にものを使うことについて啓発をしている。年間 50 万商品を販売、来場者は 30 万人。雇用は 50 名。

写真等



ヒアリングの様子



リユース用に集まった衣類・本等のコンテナ



BSR のバイオガスプラント(Ruhleben、提供資料より)

Key performance indicators 2022

2022年度の実績

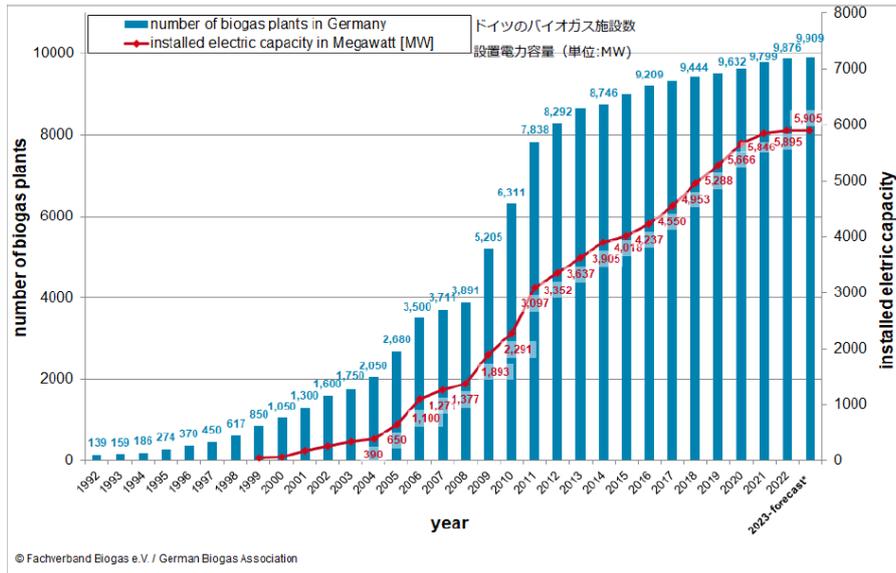
- 原料：家庭からの有機性廃棄物75,000 Mg/a
- 雇用数：16
- バイオガス：103 m³/Mg Input with ϕ 56% CH₄
- 年間バイオガス量： \sim 6 Mio. m³/a
- バイオメタン製造量： \sim 3 Mio. m³/a
- ネットエネルギー製造量： \sim 31 Mio. kWh/a
- ディーゼル燃料代替量： \sim 2,5 Mio. liters/a
- 発酵残渣量(固)：20,000 Mg/a (たい肥化等)
- 発酵残渣量(液)：40,000 Mg/a (液肥化等)
- CO₂-削減ポテンシャル： \sim 13,800 Mg CO₂/a from substitution of fuel and c-sequestration or 185 kg CO₂/Mg Input
13,800t-CO₂/年の排出削減(燃料の代替および炭素隔離による)
または、185kgCO₂/投入tあたりの削減

視察先	ドイツバイオガス協会（ドイツ）
概要	気候保護のためのバイオガス利用促進を目的として法律の枠組みや、ガイドライン、規格等の定義、情報交換や情報伝達、EU、国、地域レベルでの提言活動等を実施している組織
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 会員が 4,700 以上(施設運営者、メーカー、研究機関、公共機関、原料供給事業者、個人等)、会費収入により成り立っている非営利組織。40 名を雇用している。 ・ コンサルティングやトレーニング等も実施している。 ・ ドイツ国内のバイオガス施設は 1 万近くが稼働しており、設備容量は約 6GW。経年での変化をみると、設備数が大きく伸びている年は政府または州から助成金があった時期と重なる。 ・ ヨーロッパ全体ではバイオガス施設が 19,491 施設、バイオメタンの施設は 2022 年時点で 1,323 と、全体の 6%程度。近年増加傾向にあり、バイオメタンは 2024 年には 1,600 まで増えている。 ・ 国ごとにみると、バイオガス、バイオメタンどちらに注力しているかというのが分かりやすく、フランスや UK、ドイツ、デンマーク等はバイオメタン施設が多い。 ・ ドイツでは、石油関連企業が CO₂の排出削減割り当て(GHG クォータ)達成のため、バイオメタンやバイオエタノール等を購入している。 ・ ドイツでバイオガス・バイオメタンによる CO₂削減量は 2,100 万 t ・ バイオガス事業が 5 万人の雇用数を生み出している。 ・ バイオガスエネルギー生産の面では、ドイツがヨーロッパ全体の半分を占める。

提供資料(抜粋)

Development of the German biogas sector

ドイツのバイオガス・セクターにおける発展



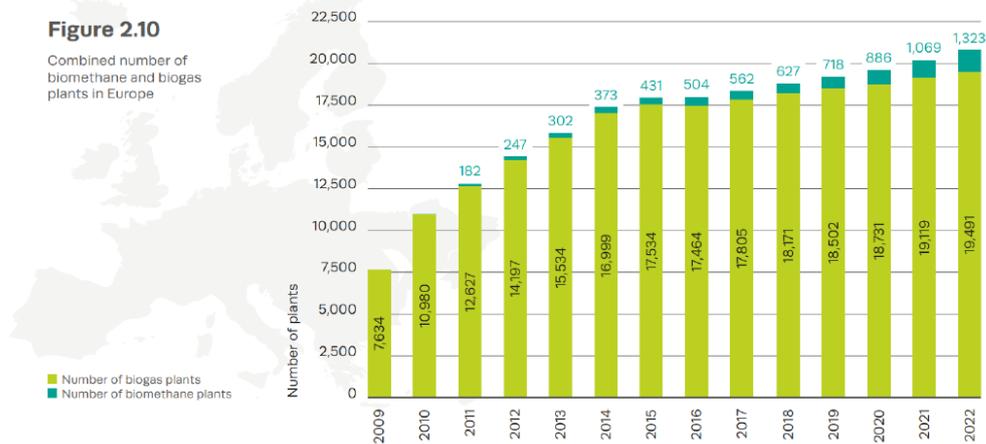
Number of biogas and biomethane plants in Europe

ヨーロッパにおけるバイオガスおよびバイオメタンの施設数

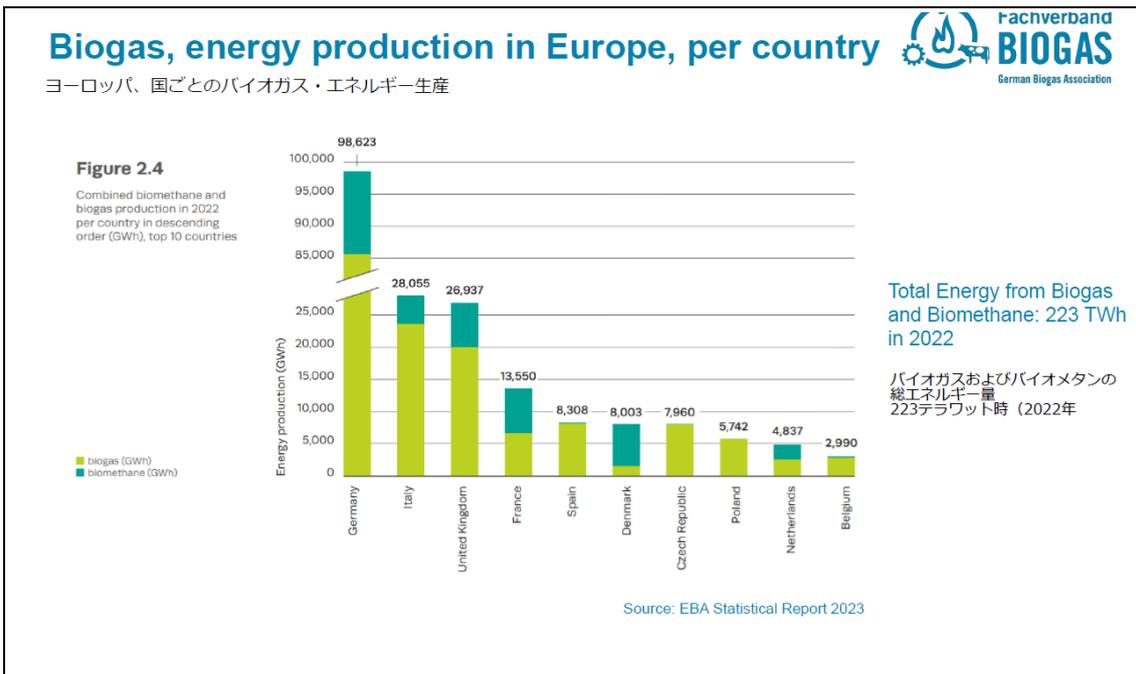


Figure 2.10

Combined number of biomethane and biogas plants in Europe



Source: EBA Statistical Report 2023



視察先	ガスステーション(ドイツ ベルリン)
現場でのヒアリング内容、実際の運用等	<ul style="list-style-type: none"> ・ bioCNG 専用のガスステーションでトラックにガス充填をしているドライバーにヒアリングをした際には、高速道路の通行料金が bioCNG を燃料としていると免除されるしくみがあるとのこと⁸³。 ・ bioCNG の単価はフランスで訪問したいくつかのガスステーションよりも安価(一般向けで 1.499€/kg)。
写真等	
	
ガスステーション(一般向け)	ガスステーション(一般向け)

⁸³ その後の調査によると、ドイツでは 3.5t 以上の車両は高速道路の利用に際し通行料金が課せられる。車両の排出ガスクラス、車軸・重量クラス等により細かく走行距離 (km) あたりの通行料金が定められている。バイオメタンを燃料とするトラックは料金が免除されていたが現在は水素自動車と電気トラックのみが免除対象。

https://www.toll-collect.de/en/toll_collect/bezahlen/maut_tarife/p1745_mauttarife_07_2024.html



リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。