

令和3年度
エネルギー需給構造高度化対策に関する
調査等事業（エネルギー多消費産業にお
けるエネルギー消費実態に関する調査）

報告書

2022年2月

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

事業概要

平成 27 年 7 月に策定された長期エネルギー需給見通し（以下「エネルギーミックス」という。）においては、石油危機後と同等のエネルギー効率改善（GDP 当たりのエネルギー効率を 35%程度改善）を実現し、平成 25 年度を基準年として令和 12 年度に対策前比で原油換算 5,030 万 k1 程度の省エネルギー（以下「省エネ」という。）を達成するという見通しが示された。このエネルギーミックスの実現を図るため、平成 30 年 7 月に策定された「エネルギー基本計画」では、徹底した省エネを実現するため、産業・業務部門に関してはベンチマーク制度の流通・サービス業への拡大や中小企業に対する支援強化、家庭部門については住宅等のゼロ・エネルギー化、運輸部門については次世代自動車の普及等を重要施策として掲げている。

こうした中、今後、ベンチマーク制度について、現在設定されている指標や目標等を検証し、必要な見直しを行うことにより、我が国の省エネルギーの水準を更に向上させていくことが重要である。また、2020 年 10 月には「2050 年カーボンニュートラル」という新たな目標が掲げられ、徹底した省エネの重要性が一層高まっており、ベンチマーク制度の対象拡大を含めた取組強化の検討が必要である。

ベンチマーク制度は、工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準（平成 21 年経済産業省告示第 66 号。以下「工場等判断基準」という。）において規定されている業種・分野別の省エネ目標であり、平成 20 年に導入された。同制度の開始から 10 年以上が経過したことを踏まえ、令和元年度及び令和 2 年度の総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会工場等判断基準ワーキンググループ（以下、「工場等判断基準 WG」という。）においては、一部業種について、ベンチマーク指標及び目指すべき水準（目標値）の見直しを実施し、制度の適正化を図った。

本事業では、ベンチマーク制度の対象業種・分野の拡大に向けて、エネルギー多消費業種・分野のエネルギー消費実態等に関する調査・分析を、海外の関連制度を参考にしつつ実施した。また、昨年度の調査事業（令和 2 年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（エネルギー多消費産業におけるエネルギー消費実態に関する調査））に引き続き、産業部門のベンチマーク制度について、業種・分野別の実態を反映したものとなるよう、指標及び目標値の見直しを行った。その際、海外の関連制度との比較を行った。また、本調査も踏まえつつ、目標達成に向けた事業者の毎年度の取組を評価する仕組みや、制度の普及、支援策の効果的な活用等も検討した。

上記を踏まえ、本事業では、以下について、具体的な制度設計のための調査・検討を行った。

具体的検討内容

①ベンチマーク制度の対象業種・分野の拡大に向けた検討

現行のベンチマーク制度の対象となっていない産業部門の業種・分野のうち、特にエネルギー使用量が大きい業種（圧縮ガス・液化ガス製造業、自動車製造業）について、業種ごとに業界団体へのヒアリング及び文献調査等を行い、ベンチマーク指標設定に必要な製造工程におけるエネルギー消費の実態等の事前調査を実施した。

事前調査の結果を踏まえ、業種ごとに対象事業者へ調査票を送付し、製造製品及び製造工程におけるエネルギー消費実態等に関して調査・分析を行った。圧縮ガス・液化ガス製造業については、適切なベンチマーク指標及び目標値の提言等を行った。自動車製造業については、分析結果を示したものの継続して課題の解決を行うこととなった。

②ベンチマーク制度における産業部門（電力供給業を除く。）の一部業種に関する現状分析及び目標値の見直しの検討

現行ベンチマーク制度の対象である産業部門の各業種のうち、令和2年度報告（令和元年度実績）のベンチマーク目標の達成状況が50%を超える石油化学系基礎製品製造業及びソーダ工業を対象として、業種ごとに業界団体へのヒアリング及び文献調査等を行い、ベンチマーク指標に影響を及ぼす要因等の事前調査を実施した。

事前調査の結果を踏まえ、業種ごとに対象事業者へ調査票を送付し、製品及び製造工程等の違いによるベンチマーク指標の値への影響に関して定量的に調査・分析を行った。石油化学系基礎製品製造業については、調査により報告に誤りがあった事業者があったため、誤りを修正することで令和2年度のベンチマーク制度の達成状況が25%と低下したため、ベンチマーク目標値の変更は実施しないこととした。ソーダ工業については、適切な目標値の提言等を行った。その結果、ソーダ工業ではベンチマーク目標値を引き上げ、達成事業者数が15%の水準とした。

また、石油化学系基礎製品製造業については、EU-ETSの無償割当でのベンチマーク指標との比較を行い、現行基準に遜色がないことを確認した。ただし、両制度における対象範囲が異なるため、参考としての比較である。

③産業部門における非化石エネルギー利用割合の向上ための予備的試算

カーボンニュートラル実現に向け、産業部門においても非化石エネルギーの利用拡大が一つの課題となっており、現状の非化石エネルギーの利用率について総合エネルギー統計を用いて試算を行った。

目次

第1章 産業部門におけるベンチマーク制度の全体に関する検討状況.....	1
1.1. 産業部門でのベンチマーク対象業種の拡大	1
1.2. 産業部門におけるベンチマーク目標値の見直し	2
1.3. エネルギー多消費産業の非化石エネルギー利用率の試算	3
第2章 圧縮ガス・液化ガス製造業の検討状況.....	5
2.1. 事業の概要及びベンチマーク制度導入検討の背景	5
2.2. 調査票による実態調査の実施状況.....	5
2.2.1. 調査票の様式	5
2.2.2. 配布・回収状況.....	5
2.2.3. データの概要	14
2.2.4. 製品別エネルギー消費原単位の推計（実測値）	20
2.2.5. 製品別エネルギー消費原単位の推計（理論値）	22
2.3. ベンチマーク指標候補の比較.....	24
2.4. ベンチマーク指標の計算方法.....	31
2.4.1. 計算式	31
2.4.2. 計算手順.....	31
2.5. ベンチマーク目標値の設定	33
2.6. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証.....	33
第3章 自動車製造業の検討状況	34
3.1. 事業の概要及びベンチマーク制度導入検討の背景	34
3.2. 調査票による実態調査の実施状況.....	34
3.2.1. 調査票の様式	34
3.2.2. 配布・回収状況.....	35
3.2.3. データの概要	43
3.3. ベンチマーク指標の検討	48
3.3.1. 品種別エネルギー消費原単位の推計	48
3.3.2. 補正式	51
3.3.3. 補正結果.....	52
3.3.4. 今後の課題.....	53
3.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証.....	56
第4章 石油化学系基礎製品製造業の検討状況.....	58

4.1. ベンチマーク目標の達成状況と課題分析.....	58
4.2. 調査票による実態調査の実施状況.....	59
4.3. ベンチマーク目標の見直しの検討状況	60
4.3.1. ベンチマーク目標値達成状況.....	60
4.3.2. 分析の結果.....	60
4.3.3. 見直しの方向性.....	65
4.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証.....	65
4.4.1. EU-ETS のベンチマーク水準	66
4.4.2. CO ₂ ベースへの換算方法と比較結果	66
第 5 章 ソーダ工業の検討状況.....	68
5.1. ベンチマーク目標の達成状況と課題分析.....	68
5.2. 調査票による実態調査の実施状況.....	69
5.3. ベンチマーク目標の見直しの検討状況	70
5.3.1. ベンチマーク目標達成状況.....	70
5.3.2. 分析結果.....	70
5.3.3. 見直しの方向性.....	73
5.3.4. 新たな目標値の検討.....	73
5.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証.....	73
5.4.1. インドの省エネルギー達成認証取引制度(PAT)のベンチマーク水準	73
5.4.2. TOE ベースへの換算方法と比較結果	74

第1章 産業部門におけるベンチマーク制度の全体に関する検討状況

事業全体の実施状況

本事業では、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて総合資源エネルギー調査会基本政策分科会等で示された省エネルギー政策の方向性を踏まえ、産業部門におけるベンチマーク制度で現在設定されている指標や目標値の検証・見直しの検討、ベンチマーク制度対象業種の拡大に向けた調査・分析を行うものとし、以下の項目を中心に調査を行った。

- 産業部門でのベンチマーク対象業種の拡大
- 産業部門におけるベンチマーク目標値の見直し

なお、非化石エネルギーに関しては、産業部門における今後の本格的な議論に向けた予備的調査のための試算を実施した。

1.1. 産業部門でのベンチマーク対象業種の拡大

省エネ取組を促進するための制度として、ベンチマーク対象業種の拡大をこれまでも行ってきた。2009 年度からエネルギー使用量が大きい産業部門の業種から導入し、2016 年度からは業務部門の業種にも拡大された。

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、更なる対象業種の拡大に向けた検討が行われ、次の 2 業種について、対象業種候補としての調査・分析を本事業で行うこととなった。

- 圧縮ガス・液化ガス製造業
- 自動車製造業

なお、拡大対象業種候補の選定においては、次の方針により検討が行われた。さらに、関係業界団体等との議論により、上記の 2 業種が拡大対象業種の候補となった。

- 事業全体のエネルギー使用量（100 万 kJ 以上）
- 業種全体の事業者数（100 者以下）
- 一事業者当たりのエネルギー使用量（上記の 2 つの項目を踏まえて検討）

本事業では、上記の 2 つの拡大対象業種候補について、以下の調査を実施した。

- 業界団体へのヒアリング及び文献調査等によるベンチマーク指標設定に必要な製造工程におけるエネルギー消費の実態等の事前調査
- 対象事業者へ調査項目の検討・設計、調査票の送付・回収
- 回収調査票による製造製品及び製造工程におけるエネルギー消費実態等に関する分析
- 適切なベンチマーク指標及び目標値の提言

上記の調査の結果、それぞれ以下の結果となった。

- 圧縮ガス・液化ガス製造業：令和4年度から対象業種として追加
- 自動車製造業：令和5年度からの追加を目指し、引き続きデータ等の精査を実施

1.2. 産業部門におけるベンチマーク目標値の見直し

ベンチマーク制度の導入から10年以上が経過し、対象事業者の省エネ取組等により、ベンチマーク目標を達成している事業者が50%を超える業種があり、目標水準の見直し等の検討が必要となってきた。

そこで、ベンチマーク目標達成事業者割合が50%を超えている次の2つの業種について、ベンチマーク目標水準を見直すための調査・分析を行った。

- 石油化学系基礎製品製造業
- ソーダ工業

上記2つの業種における令和2年度の定期報告書での平均値、標準偏差、目指すべき水準の達成事業者数等は以下の通りであり、石油化学系基礎製品製造業は達成事業者割合が50%となっており、ソーダ工業は54.5%となっている。

(6A) 石油化学系基礎製品製造業	
目指すべき水準：	11.9 GJ/t 以下
平均値：	10.5 GJ/t (前年 11.2 GJ/t)
標準偏差：	2.6 GJ/t
達成事業者数／報告者数：	5／10 (割合 50.0 %)

出所) エネルギーの使用の合理化等に関する法律に基づくベンチマーク指標の実績について

(令和2年度定期報告(令和元年度実績)分)

図 1.2-1 石油化学系基礎製品製造業の平均値、標準偏差、目指すべき水準の達成事業者数等

(6B) ソーダ工業	
目指すべき水準：	3.22 GJ/t 以下
平均値：	3.60 GJ/t (前年 3.69 GJ/t)
標準偏差：	2.08 GJ/t
達成事業者数／報告者数：	12／22 (割合 54.5%)

出所) エネルギーの使用の合理化等に関する法律に基づくベンチマーク指標の実績について

(令和2年度定期報告(令和元年度実績)分)

図 1.2-2 ソーダ工業の平均値、標準偏差、目指すべき水準の達成事業者数等

本事業では、上記の2つの業種について、以下の調査を実施した。

- 業界団体へのヒアリング及び文献調査等によるベンチマーク指標設定に必要な製造工程におけるエネルギー消費の実態等の事前調査
- 対象事業者へ調査項目の検討・設計、調査票の送付・回収
- 回収調査票による製造製品及び製造工程におけるエネルギー消費実態等に関する分析
- 適切なベンチマーク指標及び目標値の提言

上記の調査の結果、それぞれ以下の結果となった。

- 石油化学系基礎製品製造業：ベンチマーク目標値を見直さない
(事業者の報告値適正化の結果、達成率が25%に低下)
- ソーダ工業：ベンチマーク目標値の引き上げを実施

1.3. エネルギー多消費産業の非化石エネルギー利用率の試算

本事業では、非化石エネルギーの利用拡大のために、産業部門における今後の本格的な議論に向けた予備的調査のための試算を実施した。今回の試算の対象とした業種は、エネルギー使用量が大きい次の4つの業種である。

- 鉄鋼業
- 化学工業
- セメント・ガラス製造業
- 製紙業

本試算は、総合エネルギー統計のデータを利用し、対象範囲等については暫定的に想定を行ったもので、今後の本格的な議論が必要である。

対象とした非化石エネルギーは、統計上の再生可能エネルギー¹と未活用エネルギー²とし、系統電力の非化石電源比率は、事業用発電における非化石率を用いて、2017年:17%、2018年:21%、2019年:23%として考慮した。

非化石エネルギーの計算式

非化石エネルギー比率 = (系統電気の非化石分 + 非化石自家発電発電量 + 非化石自家発電蒸気発生量 + 非化石最終エネルギー消費量) ÷ (系統電気発電(化石 + 非化石) + 自家発電発電量(化石 + 非化石) + 自家発電蒸気発生量(化石 + 非化石) + 最終エネルギー消費量(化石 + 非化石) - 非エネルギー利用量)

¹ 光発電、太陽熱、風力発電、木材、廃材利用、バイオエタノール、バイオディーゼル、黒液直接利用、バイオガス、バイオマスその他、雪氷、他温度差、他自然、地熱発電、地熱直接

² 廃棄物発電、廃タイヤ、廃プラスチック、RDF、廃棄物ガス、再生油、RPF、廃棄物その他、廃熱利用熱、蒸気回収、電力回収

試算の結果は、以下の通りである。

表 1.3-1 エネルギー多消費業種における非化石エネルギー利用状況の試算

	2017 年	2018 年	2019 年
鉄鋼業	8.8%	9.0%	9.4%
化学工業	15.9%	16.8%	16.9%
セメント ・ガラス製造業	10.7%	14.7%	15.2%
製紙業	47.4%	48.3%	48.7%

第2章 圧縮ガス・液化ガス製造業の検討状況

2.1. 事業の概要及びベンチマーク制度導入検討の背景

圧縮ガス・液化ガス製造業は、主として圧縮又は液化した酸素、水素、炭酸ガス、窒素、ネオン、アルゴンなどを製造する事業をいう。これらのガスは産業用・医療用として多岐に渡る用途で使用される。2020 年度定期報告によれば、全体のエネルギー使用量は約 272 万 k1（対象事業者は 77 社）と大きいことから、新たにベンチマーク制度の導入を検討することとされた。また、同報告によれば、事業者間のエネルギー消費原単位のばらつきが大きい可能性が示唆された。

主な製造方法は空気を原料とする空気分離法であり、深冷分離、吸着分離及び膜分離の 3 製法からなるが、大規模かつ主流の製造方法は、酸素・窒素等の沸点の違いを利用して分離する深冷分離法である。深冷分離法では原料空気を -200°C 近くまで冷却する必要があるが、必要な冷却エネルギー（寒冷）は一旦圧縮した空気を断熱膨張させることで得る（原料空気圧縮機で空気を約 0.5MPaG（1/6 程度）まで圧縮）。このため、深冷分離法のエネルギー消費は圧縮機で消費する電力エネルギーが太宗を占める。

2.2. 調査票による実態調査の実施状況

2.2.1. 調査票の様式

業界団体へのヒアリングを踏まえ、表 2.2-1 及び表 2.2-2 に示す調査票様式を作成し、各事業者が保有する製造施設別に記入を求めた。対象は空気分離法とし、製造方法・設備構成は図 2.2-1 に示す 11 区分からの選択とした。生産量はガス種別・圧力区分別、エネルギー使用量はプロセス別³・エネルギー種別に、それぞれ 2016～2020 年度のデータ入力を求めた。なお、エネルギー使用量については、省エネ法対象外のエネルギー（後述の LNG 冷熱など）についても把握することとした。

また、表 2.2-3 において、各社の省エネ取組やベンチマーク指標に対する意見等に関するアンケート調査を合わせて実施した。

2.2.2. 配布・回収状況

調査票は対象事業者 77 社のうち、業界団体である一般社団法人日本産業・医療ガス協会会員企業の 63 事業者⁴に対して実施⁵し、46 事業者⁶から調査票を回収した（回収率 73%）。ただし、うち 3 事業者については空気分離法を実施しておらず分析の対象外であった。したがって、以降の分析では 43 事業者のデータを対象とした。

³ 表中では深冷分離法のみ示しているが、吸着分離法及び膜分離法についても調査している。

⁴ 連絡先判明分

⁵ 2021 年 10 月 18 日発出

⁶ 分析完了後に提出があった 1 事業者を除く

表 2.2-1 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の様式（製造方法・設備構成、生産量）

○該当する製造方法・設備構成を選択してください。

製造方法・設備構成 (別添「参考図：製造方法・設備構成.docx」参照)	備考(標準的な設備構成(別添参考図)と比較し、エネルギー原単位に影響を与えらると思われる設備要因(特殊設備等)があれば、具体的に記入してください。)
未選択	

○圧縮ガス・液化ガスの生産量を品種別に記入してください。

ガス種	ゲージ圧 ※2 (以上～未満)	生産能力 (2020年度) (Nm ³ /h)	生産量(千Nm ³)※1					備考
			2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	
ガス酸素	未選択							
	未選択							
	未選択							
	未選択							
	未選択							
液化酸素	-							
ガス窒素	未選択							
	未選択							
	未選択							
	未選択							
	未選択							
液化窒素	-							
ガスアルゴン	未選択							
	未選択							
	未選択							
液化アルゴン	-							
低純度ガス窒素	未選択							
ドライエアー	未選択							
合計		0	0	0	0	0	0	

※1:生産量の記入については、高圧ガス容器に充填されるか、輸送車又は可搬式低温液化ガス容器で出荷されるときの数量をもって生産量とします。

パイプ輸送によって販売又は消費されるガスについては、販売又は消費量をもって生産とします。

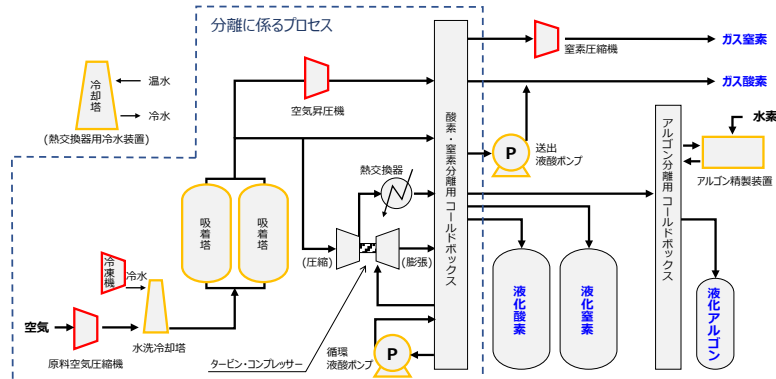
なお、液化ガスをガス化/パイピング供給した数量は、液化ガス生産量に含めてください。

※2:圧縮ガスの圧力区分は、供給圧力でなく昇圧機による昇圧後の圧力とします。

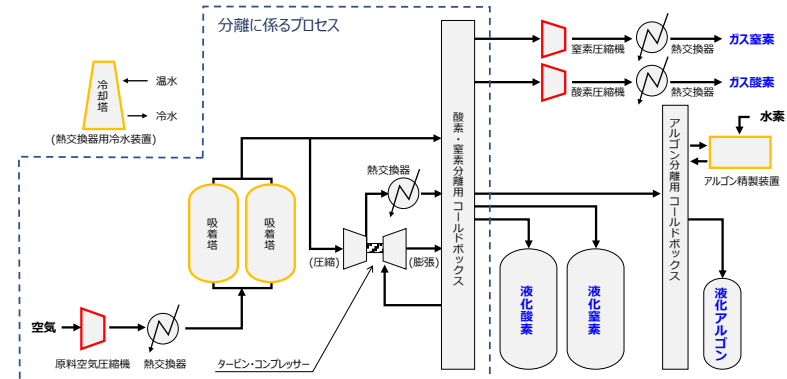
例えば、圧縮機で圧縮したガスの一部を減圧して送出する場合の圧力は、減圧後の圧力ではなく、圧縮後の圧力を対象圧力とします。

注：圧縮ガスの圧力区分は、0.0～0.5、0.5～1.0、1.0～1.5、1.5～2.0、2.0～2.5、2.5～3.0、3.0～3.5、3.5～4.0、4.0～4.5、4.5～5.0、5.0MPaG～の11区分

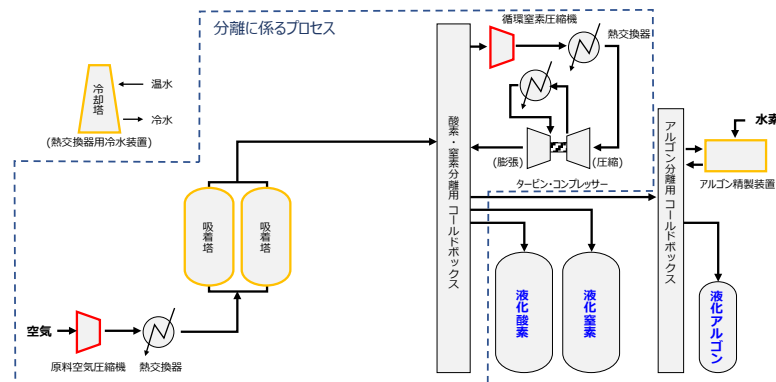
① ガス酸素(内部昇圧)、ガス窒素、液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産



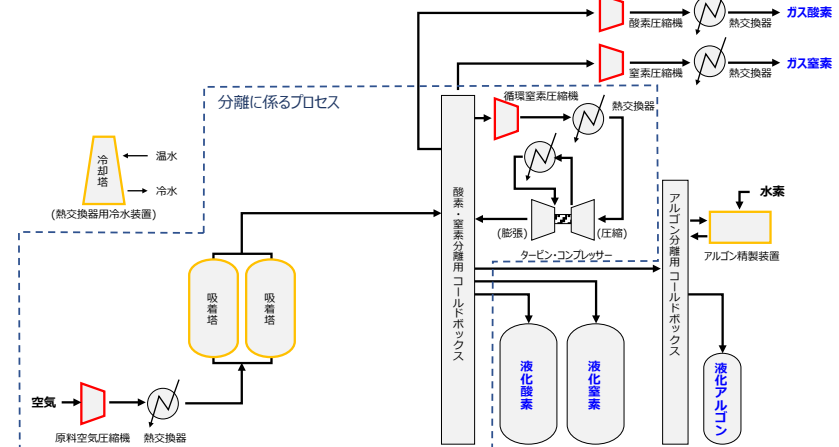
② ガス酸素(外部昇圧)、ガス窒素、液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産



③ 液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産



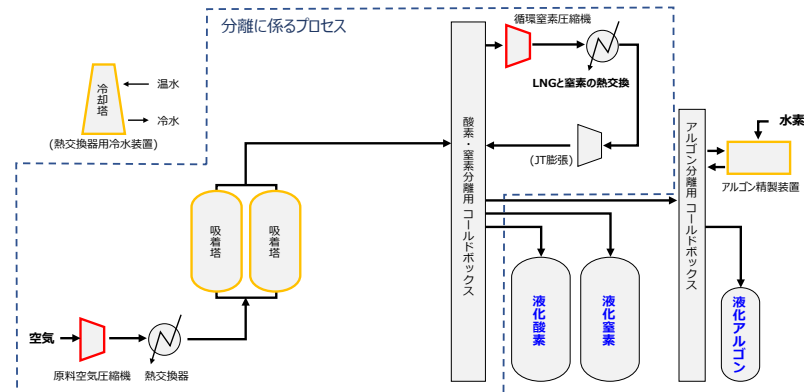
④ 液化酸素、液化窒素、液化アルゴン、ガス酸素(外部昇圧)、ガス窒素生産



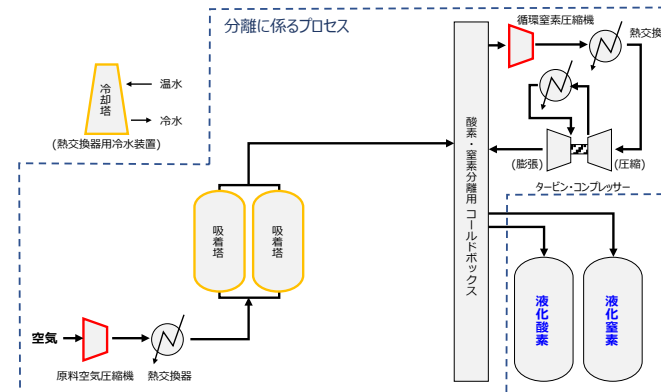
(出典) 一般社団法人日本産業・医療ガス協会

図 2.2-1(1) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の参考図(製造方法)

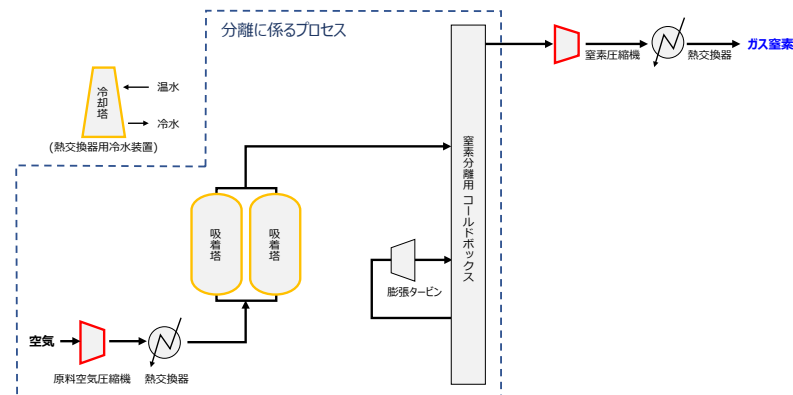
⑤ 液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産(LNG冷熱利用)



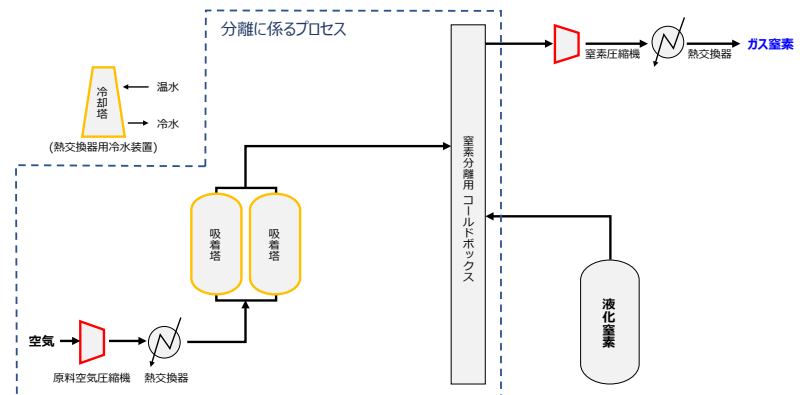
⑥ 液化酸素、液化窒素生産



⑦ ガス窒素生産(機械式冷熱発生)



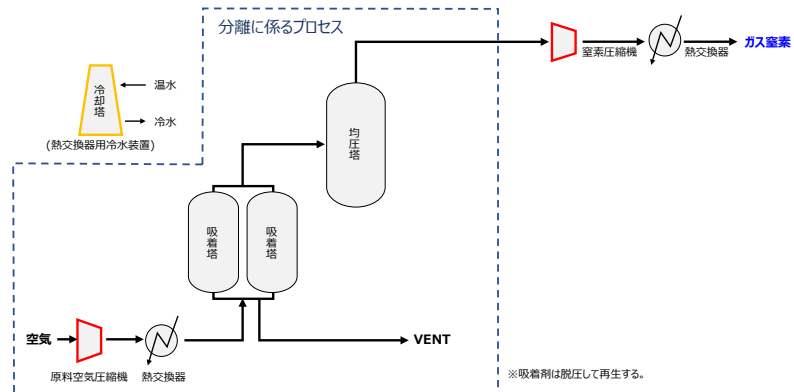
⑧ ガス窒素生産(液化窒素冷熱利用)



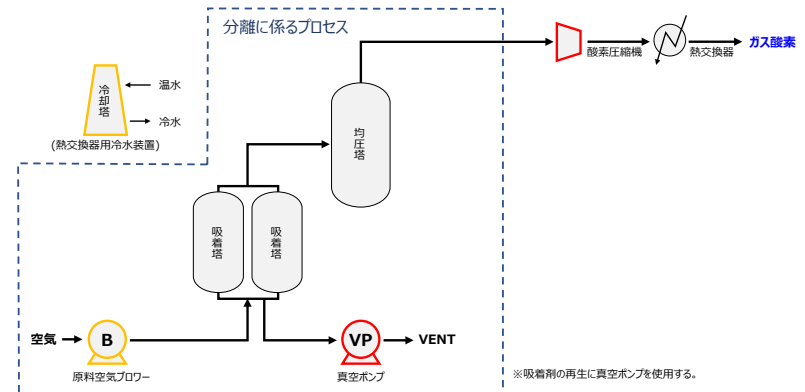
(出典) 一般社団法人日本産業・医療ガス協会

図 2.2-1(2) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の参考図(製造方法)

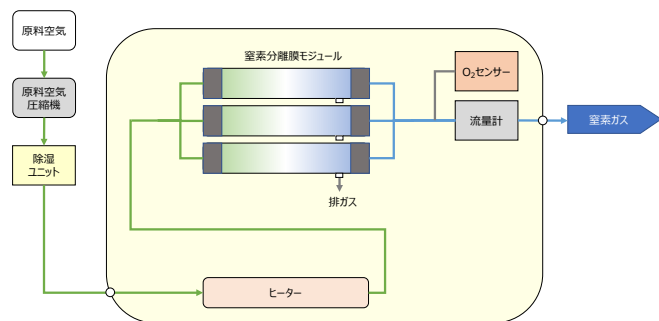
⑨ ガス窒素生産(PSA)



⑩ ガス酸素生産(VPSA)



⑪ ガス窒素生産(膜分離)



(出典) ⑨～⑩：一般社団法人日本産業・医療ガス協会 ⑪：エア・ウォーターHP を参考に日本エネルギー経済研究所作成

図 2.2-1(3) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の参考図(製造方法)

表 2.2-2(1) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の様式（エネルギー使用量）

製造方法・設備 (別添「参考図：製造方法・設備構成.docx」参照)			省エネ法の報告対象																								
			エネルギー使用量 ^{※1}											省エネ法対象：合計(kJ)													
			電力使用量(kJ) ^{※2}					化石燃料使用量(kJ) ^{※3}					熱使用量(kJ) ^{※4}														
			2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度					
深冷分離	プロセスに係る分離	原料空気圧縮機																0	0	0	0	0					
		吸着塔																0	0	0	0	0					
		空気昇圧機																	0	0	0	0	0				
		循環液酸ポンプ																	0	0	0	0	0				
		循環窒素圧縮機																	0	0	0	0	0				
		その他1(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他2(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他3(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
	小計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	分離ガスの昇圧等に係るプロセス	酸素圧縮機、送出液酸ポンプ	未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
		窒素圧縮機	未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
			未選択																0	0	0	0	0				
		アルゴン精製装置 (粗アルゴン送出ポンプ含む)																	0	0	0	0	0				
		その他1(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他2(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他3(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		小計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	全体に係るプロセス	冷却塔																	0	0	0	0	0				
		その他1(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他2(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		その他3(備考欄に具体的に記入してください)																	0	0	0	0	0				
		小計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
深冷分離・計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

表 2.2-2(2) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の様式（エネルギー使用量）

製造方法・設備 (別添「参考図：製造方法・設備構成.doxx」参照)			省エネ法の報告対象外																				備考					
			再生エネルギー使用量(MWh) ^{※5}					LNG冷熱使用量(kJ) ^{※8}					エネルギー使用量 ^{※1}					省エネ法対象外：合計(kJ)						総合計(kJ)				
			2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度						
プロセス に係る	原料空気圧縮機																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	吸着塔																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	空気昇圧機																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	循環液酸ポンプ																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	循環窒素圧縮機																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他1(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他2(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他3(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	小計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
深冷 分離	分離 ガスの 昇圧等 に係る プロセス	未選択															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		未選択																0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	アルゴン精製装置 (粗アルゴン送出ポンプ含む)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他1(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他2(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	その他3(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	小計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	全体 に係る プロセス	冷却塔																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		その他1(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		その他2(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		その他3(備考欄に具体的に 記入してください)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		小計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
深冷分離・計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

表 2.2-2(3) 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の様式（エネルギー使用量）

※1:エネルギー使用量

- ・報告対象プロセスの範囲は、「参考図：製造方法・設備構成.docx」を参照してください。
- ・設備別のエネルギー把握が難しい場合、その他欄を活用し、把握可能な合算値を記入してください。
- ・C列のプロセス区分をまたぐエネルギー使用量が分割できない場合は、エネルギー使用量の大きい設備区分に集約し、その旨備考欄に記入してください。
- ・分離ガスの昇圧を行う機器（酸素圧縮機、送出液酸ポンプ、窒素圧縮機）については、圧力区分ごとに記入してください（様式2と対応）。
- ・複数の製造施設から生産されたガスを一つの圧縮機で送出する場合、当該圧縮機のエネルギー使用量は生産量で按分し、その旨備考欄に記入してください。

※2:電力使用量

- ・省エネ法の報告対象の電力を**原油換算kl**で記入してください。すなわち、再エネ自家発電分などは含みません（「再エネ電力使用量」の方に記入してください）。
- ・化石燃料による自家発電分は含みません。ただし、販売電力分はここから差し引くことができます。

※3:化石燃料使用量

- ・省エネ法の報告対象の燃料を原油換算klで記入してください。すなわち、バイオマス由来燃料などは含みません。
- ・自家発電の化石燃料投入量はここに記入してください。

※4:熱使用量

- ・省エネ法の報告対象の熱(他者より購入した産業用蒸気、産業用以外の蒸気、温水、冷水)を原油換算klで記入してください。

※5:再エネ電力使用量

- ・省エネ法の報告対象外となる電力使用量を記入してください。具体的な定義は以下のとおりです。

再生可能エネルギーを利用した非化石燃料のみで発電された電気（太陽光発電、風力発電、水力発電等により得られる電気）又は燃料電池から発生した電気、そのことを特定できるもの（当該電気を発生させた者が自ら使用あるいは自己託送制度を利用して自社の工場等に供給する場合、又は当該電気のみを供給する者から自営線を介して当該電気の供給を受けた者が使用する場合）
※なお、例えばバイオマス自家発電については、「非化石燃料等使用量」の方に記入してください。

※6:LNG冷熱使用量

- ・LNG冷熱を用いている場合、そのエネルギー使用量を原油換算kl(正値)で記入してください。

※7:非化石燃料等使用量

- ・省エネ法の報告対象外となる燃料・熱の使用量（非化石燃料及び、非化石燃料のみで発生した熱でそのことを特定できるもの）を記入してください。
 具体的には、以下のようなものを指します（LNG冷熱はここには含めません）。

○燃料: 副生ガス、副生油（原料からのものを除く）、黒液、廃タイヤ、廃プラスチック、不純アルコール、タールピッチ、油脂ピッチ、動植物油、脂肪酸ピッチ、廃油（再生重油を含む）、廃材、木屑、コーヒー粕、廃アルコール、水素、RDF、バイオマス由来燃料
 ○熱: 地熱等により得られる熱

表 2.2-3 圧縮ガス・液化ガス製造業の調査票の様式（その他質問事項）

番号	質問事項	自由記述欄
Q1	貴社で実施されている、圧縮ガス・液化ガス製造業に係る省エネ取組みをご教示ください。	
Q2	貴社で今後検討中、検討可能な圧縮ガス・液化ガス製造業に係る省エネ取組みをご教示ください。	
Q3	ベンチマーク指標を算出するための生産量、エネルギー使用量の対象範囲(バウンダリ)について、疑問点、懸念事項などがありましたらご教示ください。	
Q4	省エネ法のベンチマーク指標について、その他ご意見等がありましたらご回答ください。	
Q5	LNG冷熱を利用したプロセスを保有されている場合、LNG冷熱の利用は有償／無償のいずれに該当しますか。	

2.2.3. データの概要

(1) 空気分離法製造方法別製造施設数

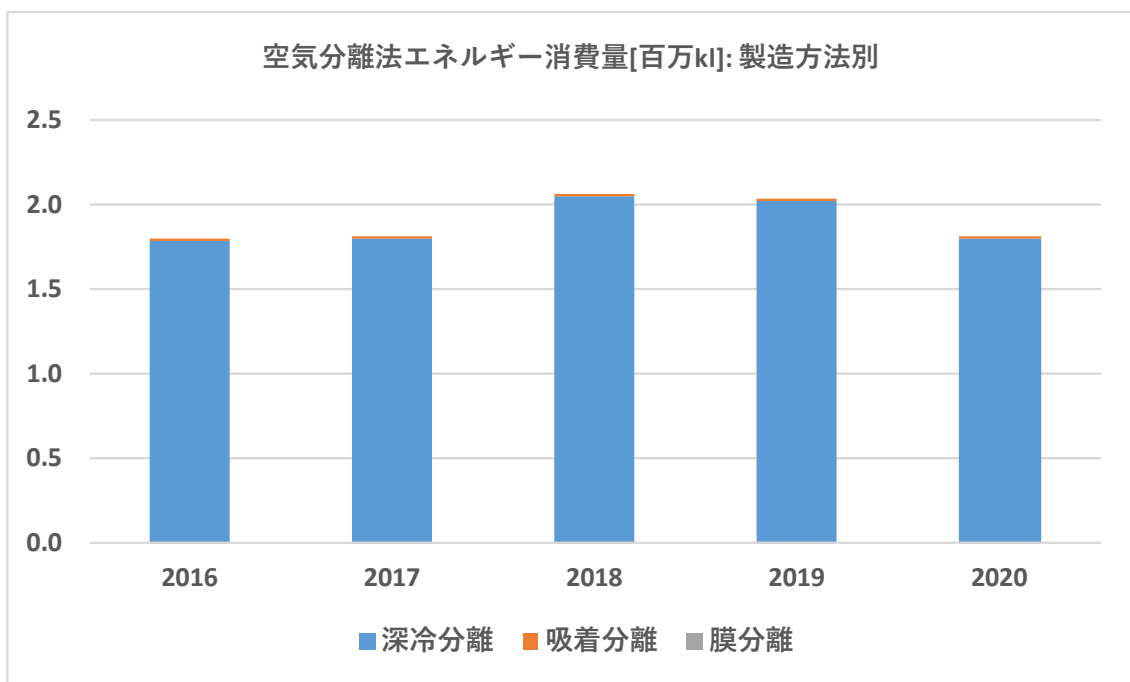
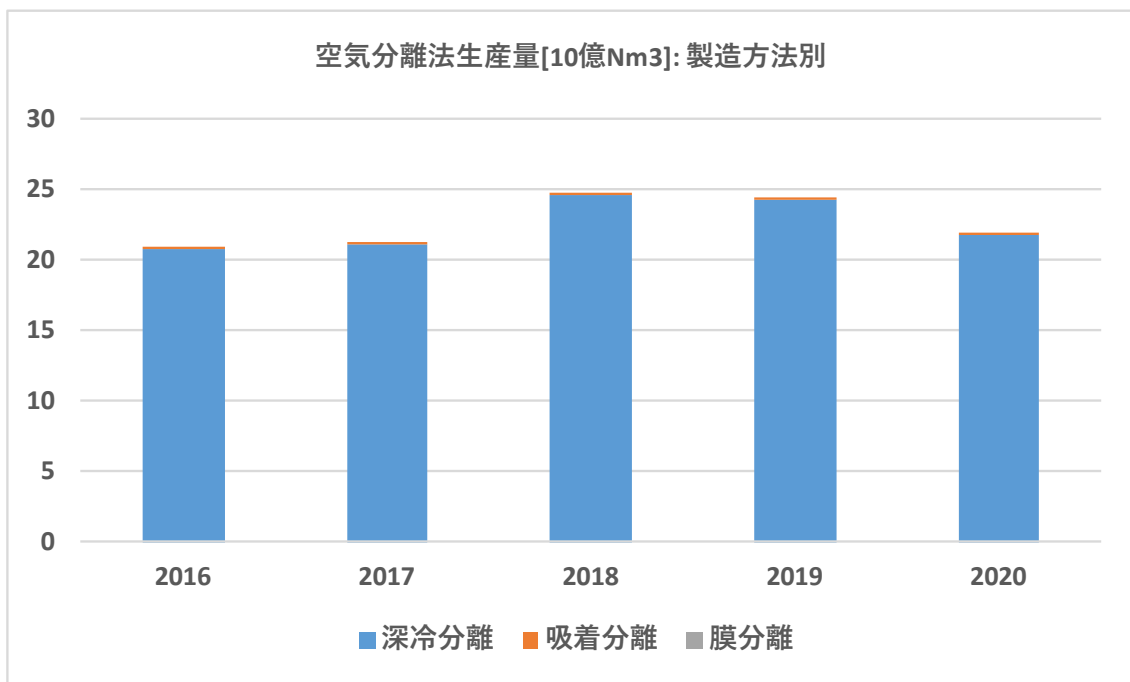
空気分離法製造方法別製造施設数を表 2.2-4 に示す。深冷分離②⑦の該当が多く、膜分離⑪は該当なしである。LNG 冷熱利用⑤は 7 施設が該当する。

空気分離法生産量・エネルギー使用量を図 2.2-2 に示す。生産量・エネルギー使用量ともに深冷分離法が太宗を占めている。また、吸着分離法の原単位を深冷分離法と比較すると一定程度の差があり、両者の単純な比較は困難である。したがって、ベンチマーク指標は深冷分離法を対象とすることとした（以降の分析はすべて深冷分離法のみが対象）。

表 2.2-4 空気分離法製造方法別製造施設数

製造方法		製造 施設数
深冷分離	①ガス酸素(内部昇圧)、ガス窒素、液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産	13
	②ガス酸素(外部昇圧)、ガス窒素、液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産	32
	③液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産	7
	④液化酸素、液化窒素、液化アルゴン、ガス酸素(外部昇圧)、ガス窒素生産	14
	⑤液化酸素、液化窒素、液化アルゴン生産(LNG 冷熱利用)	7
	⑥液化酸素、液化窒素生産	13
	⑦ガス窒素生産(機械式冷熱発生)	28
	⑧ガス窒素生産(液化窒素冷熱利用)	0
	⑨ガス窒素生産(PSA)	0
吸着分離	⑩ガス酸素生産(VPSA)	3
膜分離	⑪ガス窒素生産(膜分離)	0
合計		117

注：上表のカウントは調査票の報告ベース。製造施設によっては、エネルギーが合算値で報告されていたり、空気分離装置と別に液化装置が設けられたりするケースがあるため、製造施設ごとの分析時には適宜製造施設の集約を行っている。



○空気分離法エネルギー消費割合: 製造方法別

	2016	2017	2018	2019	2020
深冷分離	99.6%	99.6%	99.7%	99.6%	99.6%
吸着分離	0.4%	0.4%	0.3%	0.4%	0.4%
膜分離	0%	0%	0%	0%	0%

※: 膜分離は厳密にゼロ

○空気分離法原単位[kl/千Nm3]: 製造方法別

	2016	2017	2018	2019	2020
深冷分離	0.086	0.085	0.083	0.083	0.082
吸着分離	0.096	0.095	0.097	0.095	0.119
膜分離	-	-	-	-	-

※: 加重平均値 (総エネルギー消費量/総生産量)

図 2.2-2 空気分離法生産量・エネルギー使用量

(2) 深冷分離法による生産量・エネルギー使用量

深冷分離法による生産量・エネルギー使用量を図 2.2-3 及び図 2.2-4 に示す。生産量については、ガス窒素及びガス酸素の生産が多い。また、窒素と酸素の比率は 6:4 程度であり、空気組成 8:2 と比較すると酸素の比率が高い。エネルギー使用量については、電力が太宗を占めており、また、プロセス区分別（表 2.2-2 参照）にみるとコールドボックスまででエネルギー消費の 8 割程度を占めている。

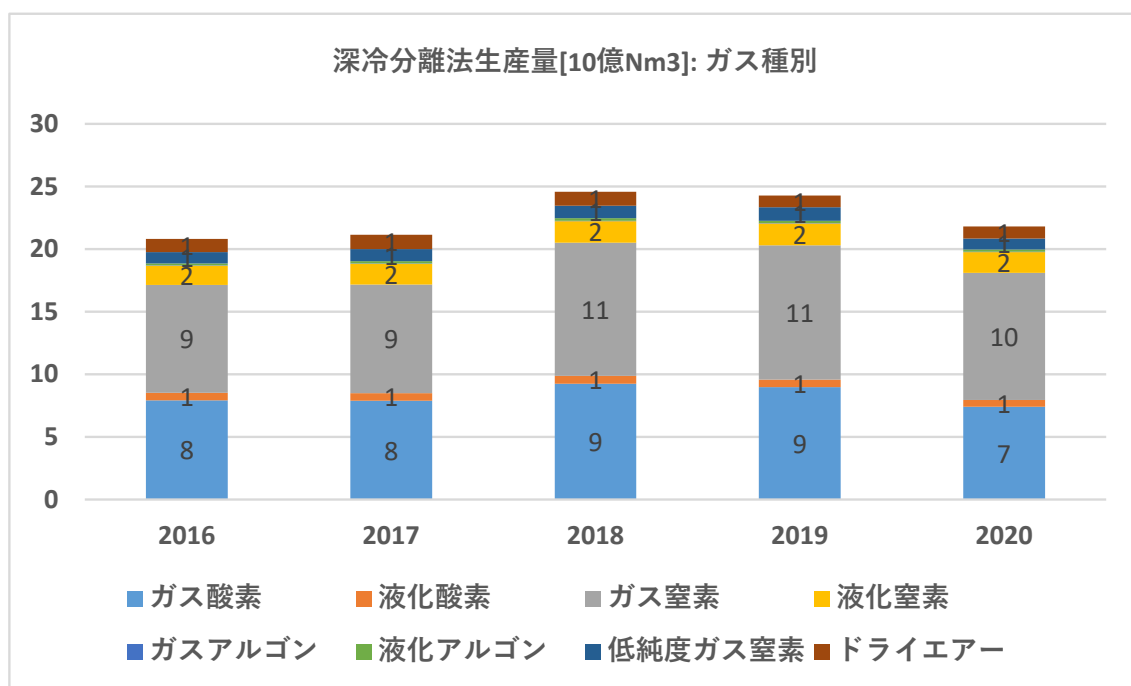


図 2.2-3 深冷分離法生産量

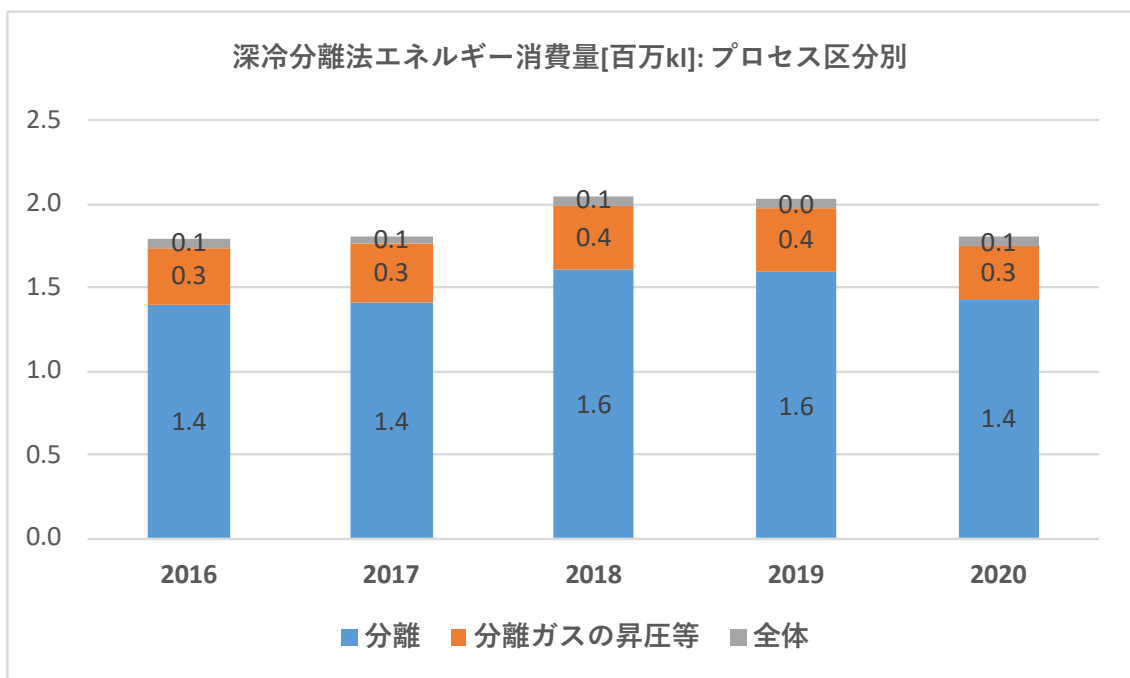
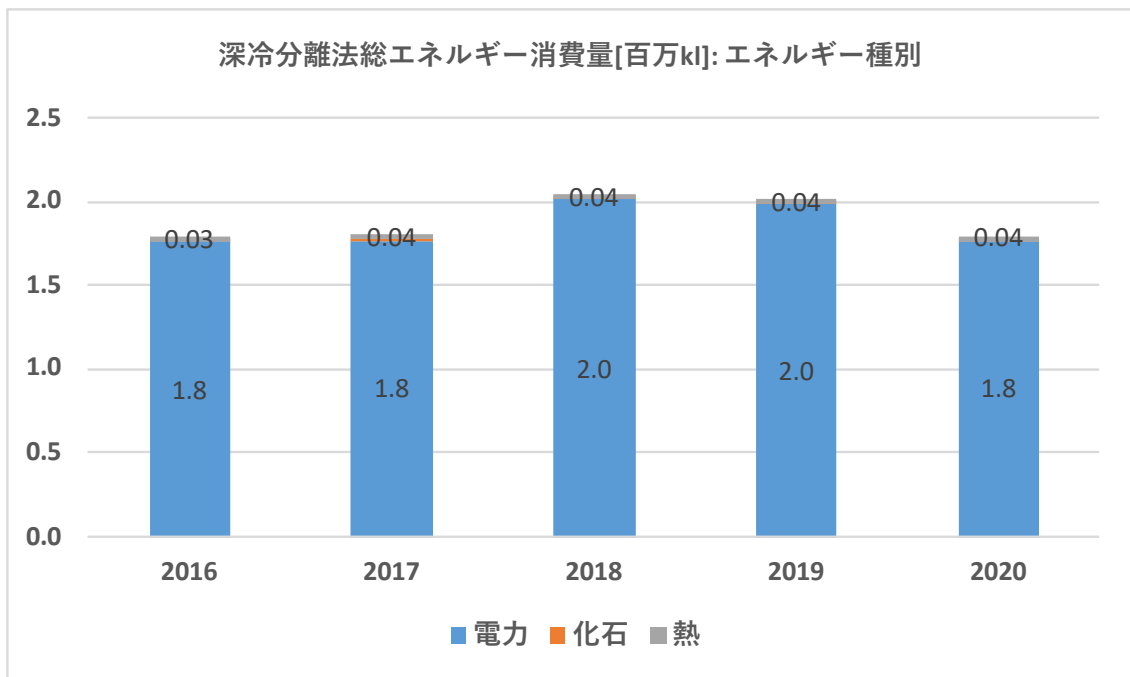


図 2.2-4 深冷分離法エネルギー使用量

(3) LNG 冷熱利用施設のデータ概要

液化ガスを主に製造するプラントでは、追加的に寒冷を発生させるための循環窒素圧縮機が必要となるが、LNG 冷熱の利用により循環窒素圧縮機の動力を大幅に削減することが可能となる。

深冷分離法における LNG 冷熱利用の状況については、回収調査票中、LNG 冷熱を利用しているのは 6 事業者 7 施設であった。LNG 冷熱利用は原単位の 2～3 割を占めているが、これは熱交換により LNG が得た熱量に相当する。実際の効率改善はさらに大きく、LNG 冷熱を利用しない製造方法③と比較した場合、原単位は半分以下の水準となる。

(4) 深冷分離法のエネルギー消費原単位の考察

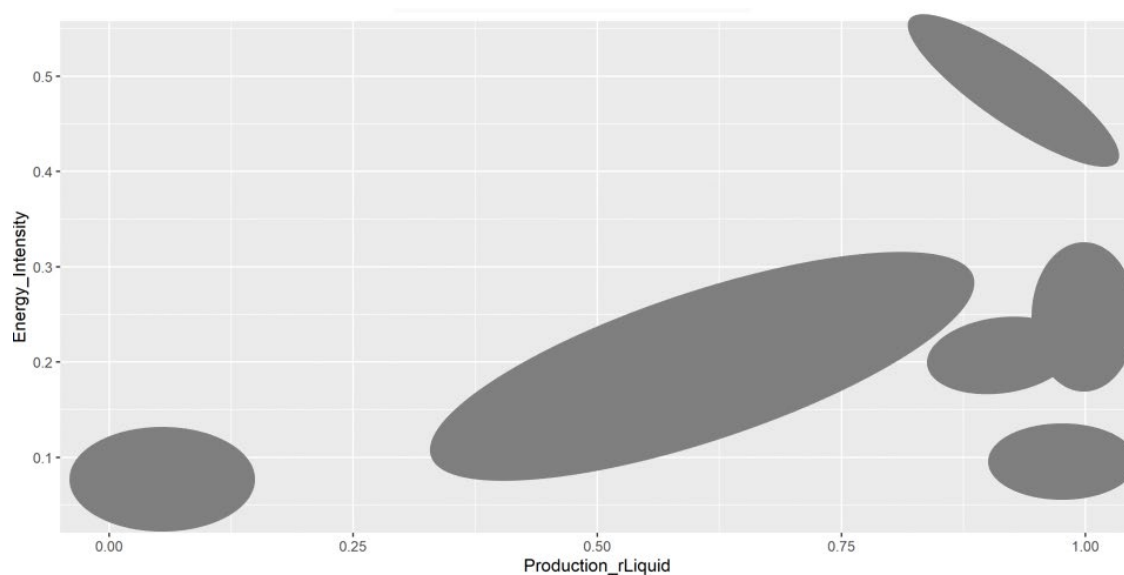
続いて、深冷分離法のエネルギー消費原単位について考察した。以下の分析においては、生産量には低純度ガス窒素とドライエアーを含まない。また、エネルギー使用量には「分離ガスの昇圧等に係るプロセス」を含まない（コールドボックスまでの原単位に着目した）。

深冷分離法事業者別原単位については、原単位が最も大きい 2 社を除き滑らかに推移しているが、上位と下位の差は大きい。そこで、液化ガス生産比率と原単位の散布図（図 2.2-5）を見ると、液化ガスの生産比率が高いほど原単位が上がる傾向がみられる。同様に、生産量と原単位の散布図（図 2.2-6）を見ると、生産量が大きいほど原単位が下がる傾向がみられる。

(5) まとめ

調査票データの概要をまとめると以下のとおりである。

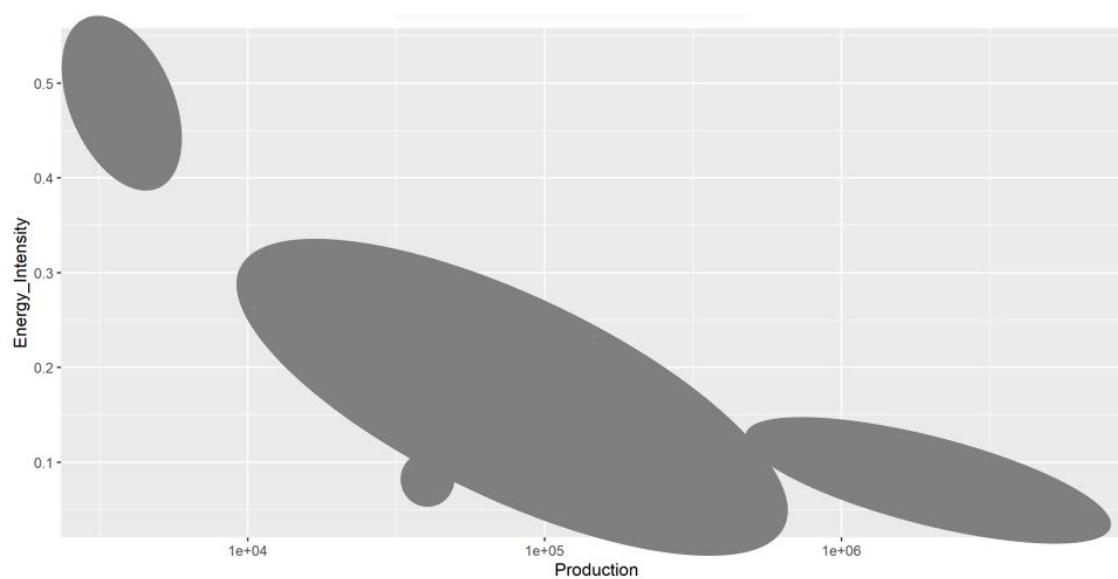
- 空気分離法のうち、深冷分離法が生産量・エネルギー使用量ともに太宗を占める。
- 深冷分離法のエネルギーは電力が太宗を占める。
- 液化ガスの生産比率が高いほど原単位は大きくなる。
- 液化ガス生産施設同士の比較では、LNG 冷熱利用の原単位は相当小さい。
- 生産量が大きいほど原単位が小さくなる。液化ガス生産の方がスケールメリットは大きい。



注 1：生産量には低純度ガス窒素とドライエアーを含まない。

注 2：エネルギー使用量には「分離ガスの昇圧等に係るプロセス」を含まない。

図 2.2-5 深冷分離法事業者別生産量液比率 vs 原単位 [k1/千 Nm³] (2020 年度)



注 1：生産量には低純度ガス窒素とドライエアーを含まない。

注 2：エネルギー使用量には「分離ガスの昇圧等に係るプロセス」を含まない。

図 2.2-6 深冷分離法事業者別生産量 [千 Nm³] vs 原単位 [k1/千 Nm³] (2020 年度)

2.2.4. 製品別エネルギー消費原単位の推計（実測値）

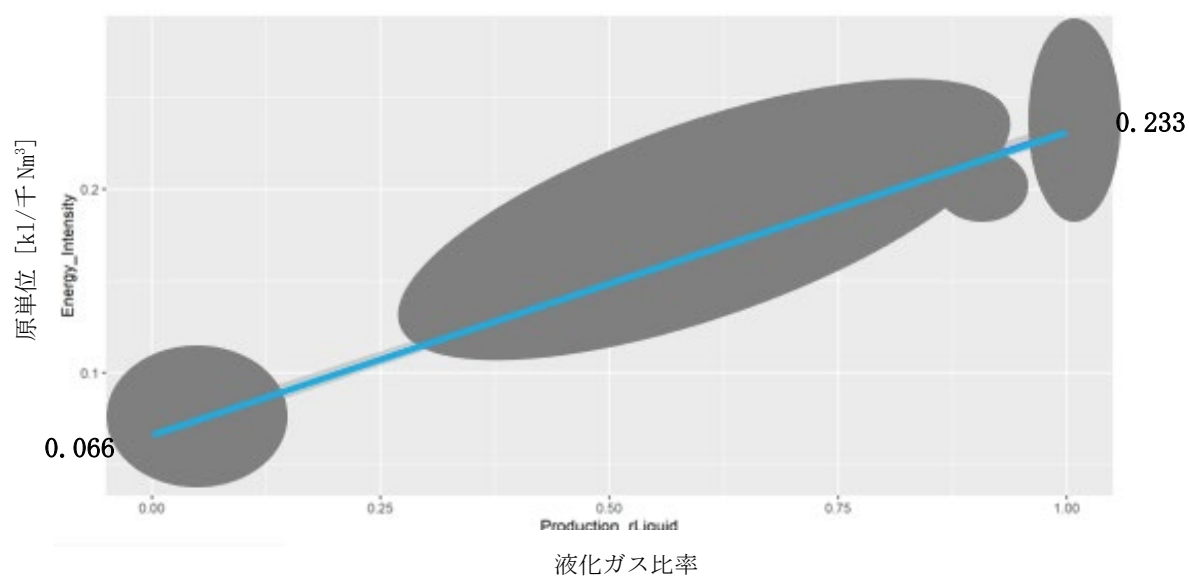
前項の分析より、シンプルな原単位は比較的大きくばらついており、その主たる要因は省エネ取組とは直接関係しない製品構成の違い（圧縮ガス・液化ガス）であることが分かった。ここでは、ベンチマーク指標として製品構成の違いを補正することを念頭に、回帰分析による製品別原単位の推計を試みた。

具体的には、コールドボックスまでの共通プロセスを対象とした原単位を液化ガスの生産比率で回帰した。用いたデータは以下のとおり。

- 5 年分（2016～2020 年度）の事業者別データを使用
- LNG 冷熱利用施設及び一部外れ値の施設データは回帰分析では除外
- 生産量には低純度ガス窒素とドライエアーを含まない
 - ✓ ガス生産量＝ガス酸素＋ガス窒素＋ガスアルゴン
 - ✓ 液生産量＝液化酸素＋液化窒素＋液化アルゴン
- エネルギー使用量には「分離ガスの昇圧等に係るプロセス」を含まない

なお、プロセス全体を対象にした回帰分析の場合、分離後のガスの昇圧等に係るエネルギーの割合が大きくなるためガスの圧力も考慮すべきだが、説明変数が多すぎて妥当な結果を得ることは困難と考えられる。したがって、コールドボックスまでの共通プロセスを対象として、特に原単位の違いが顕著である液化ガスと圧縮ガスの 2 品種に限定した。

推計結果を図 2.2-7 に示す。液化ガス比率で統計的に原単位の変動の 9 割以上を説明可能という結果となった。液化ガスの原単位 (0.233k1/千 Nm³) は圧縮ガスの原単位 (0.066k1/千 Nm³) の 3.5 倍と推計された。



原単位の推定結果

	推計値
(切片)	0.066229 ***
生産量液比率	0.166645 ***

有意水準：*** $P < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, . $p < 0.1$

自由度調整済みR2値：0.9145

図 2.2-7 製品別原単位の推計結果（回帰式）

2.2.5. 製品別エネルギー消費原単位の推計（理論値）

前項の回帰分析では2品種（圧縮ガス・液化ガス）の原単位は推計できたが、コールドボックスまでの共通プロセスを対象としており、圧力区分別の原単位は推計できていない。ここでは、標準的・理想的な条件・プロセスを想定したうえで、プロセスシミュレーターを用いて熱力学的な理論原単位を推計した。なお、本分析は日本産業・医療ガス協会の下で実施された。

プロセスフローを図 2.2-8 に示す。ここで、圧縮の条件は効率 100%の断熱圧縮とし、圧縮段数などについて以下のとおり設定した。

- 原料空気圧縮機：3 段
- 循環窒素圧縮機：6 段
- 酸素圧縮機：2 段、窒素圧縮機：4 段

※それぞれの圧縮機の各段は圧縮比を合わせた

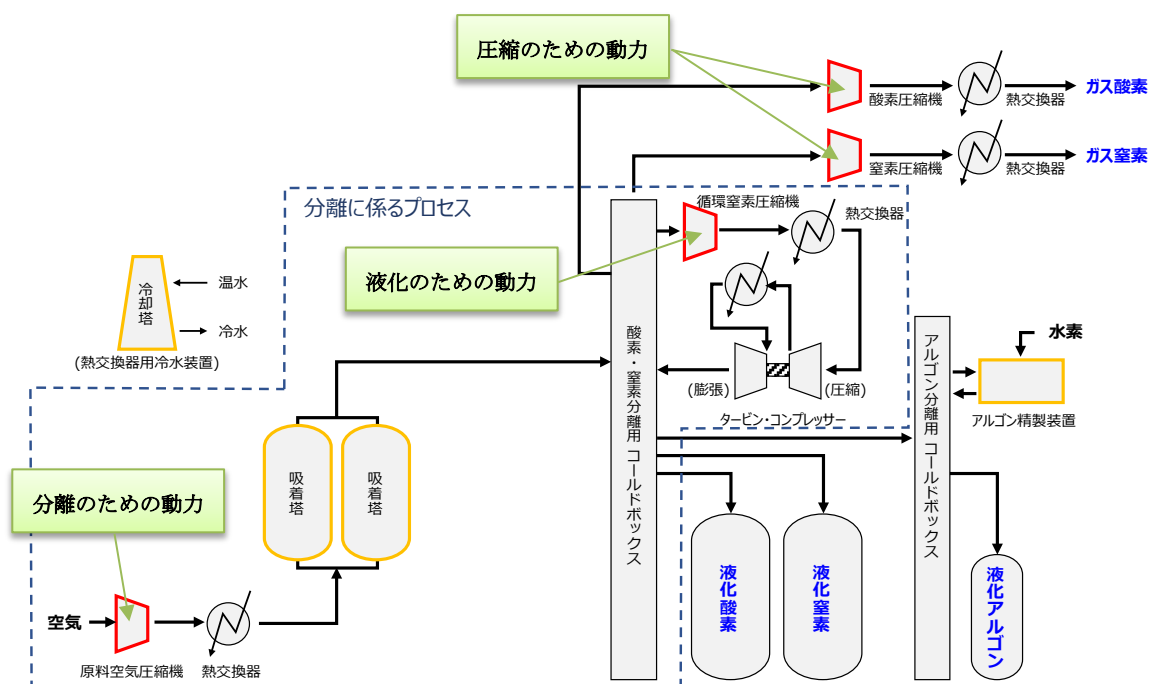


図 2.2-8 プロセスフロー図

製品別原単位の推計結果を表 2.2-5 に示す。分離・圧縮に比べ液化に要するエネルギーが大きいことがわかる。

次に、理論原単位を用いて 2 品種（圧縮ガス・液化ガス）の原単位を推計し、回帰分析による原単位と比較した結果を表 2.2-6 に示す。理論値と実測値の原単位の違いは 2 倍弱程度となっており、この違いは、実際のプロセスにおける圧力損失やコールドボックスへの入熱などによるものと考えれば妥当である。また、ベンチマーク指標の補正に用いる製品別原単位は、相対的な大小関係が正確であればよく、絶対値の大小は補正結果（ばらつきの改善度合い）に影響を及ぼさない。熱力学モデルと回帰分析では圧縮ガスと液化ガスの原単位の相対関係が近いいため、ベンチマーク指標の補正にあたり、理論原単位を採用することは妥当と考えられる。

表 2.2-5 製品別原単位の推計結果（理論値）

分離 [MJ/Nm ³ -Air]	0.236										
[MPaG]	0.0～ 0.5	0.5～ 1.0	1.0～ 1.5	1.5～ 2.0	2.0～ 2.5	2.5～ 3.0	3.0～ 3.5	3.5～ 4.0	4.0～ 4.5	4.5～ 5.0	5.0～
圧縮 [MJ/Nm ³]	0.146	0.260	0.323	0.367	0.402	0.431	0.455	0.476	0.495	0.512	0.520

	窒素	酸素	アルゴン
液化 [MJ/Nm ³]	1.586	1.500	1.493

注 1：分離の原単位は原料空気量あたり。

注 2：圧縮ガスの圧力は各区分の中央値で代表した（5.0～の区分は 5.0MPaG）。

表 2.2-6 製品別原単位推計結果の比較 [kJ/千 Nm³]

	熱力学(理論値) ^{注1}	回帰分析(実測値) ^{注2}
圧縮ガス	0.0149 ×1.6 ×3.5	0.0244 ×3.5
液化ガス	0.0513 ×1.7	0.0859

注 1：熱力学モデルの圧縮ガスは 0.25MPaG とし、酸素・窒素・アルゴンの比率は業界全体の値を採用。

注 2：回帰分析の原単位は省エネ法における電力の一次エネルギー換算を補正（3.6/9.76 を乗じた）。

2.3. ベンチマーク指標候補の比較

深冷分離法に対し以下 5 パターンの指標案を比較した。④⑤については、補正後の指標の平均値が補正前と近くなるようパラメータの調整を行った⁷。

- ① 全体：エネルギー使用量／生産量
- ② 共通大：(分離に係るエネルギー使用量＋全体に係るエネルギー使用量)／生産量
- ③ 共通小：原料空気圧縮機エネルギー使用量／生産量
- ④ 品種補正(回帰)：(分離に係るエネルギー使用量＋全体に係るエネルギー使用量)／
低純度ガス窒素・ドライエアーを除く生産量×補正係数(回帰：2 品種)
- ⑤ 品種補正(理論)：エネルギー使用量／生産量⁸×補正係数(理論：14 品種)

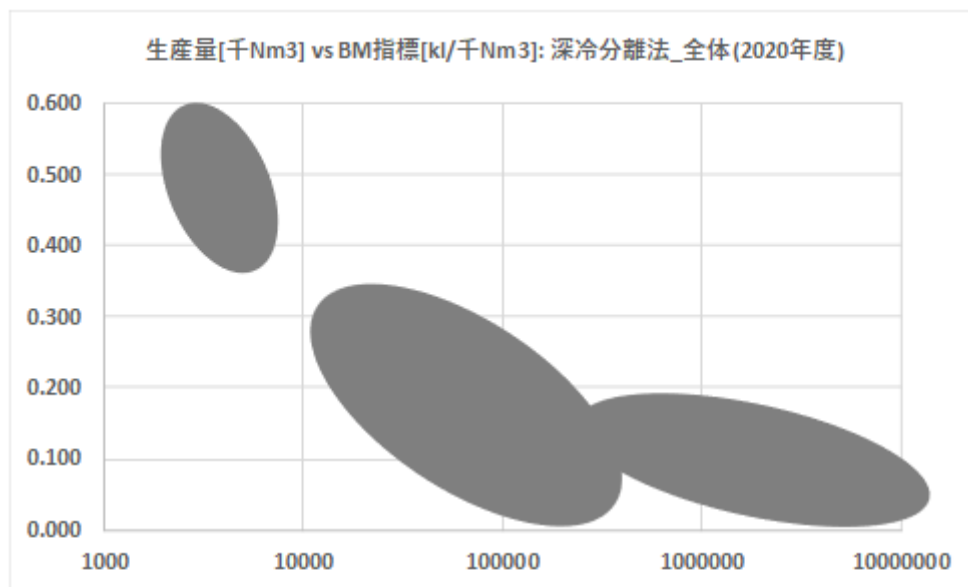
結果を図 2.3-1 及び表 2.3-1 に示す。まとめると以下のとおり。

- シンプルな指標はばらつきが大きい (①)。
- 共通プロセスに限定してもばらつきは改善しない (②)。
- 原料圧縮機に限定すれば、一部事業者を除けばばらつきは改善するがエネルギーカバー率は大きく低下 (③)。
- 品種による影響 (特に圧縮ガスと液化ガス) を補正するとばらつきは改善 (④⑤)。理論補正 (⑤) ではカバー率も 100%。

以上より、圧縮ガス・液化ガス製造業におけるベンチマーク指標案としては、深冷分離法を対象とし、理論原単位により品種補正を行う⑤が適当と考えられる。

⁷ このパラメータ (補正係数分子の固定値、2.4.1 を参照) はばらつきの改善には影響を及ぼさない (全体をシフトさせるのみ)。

⁸ 低純度ガス窒素・ドライエアーを除いた案も検討したが平均値や変動係数といった統計指標はほとんど変わらない。



データ数	43	深冷分離法に占めるエネルギーカバー率
最小		100%
平均	0.178	
最大		
標準偏差	0.095	
変動係数	0.535	

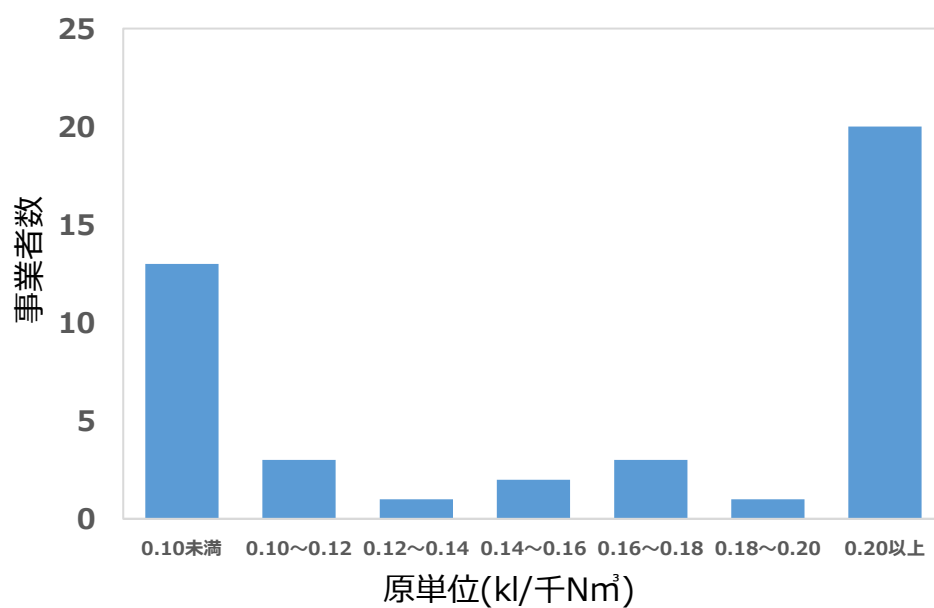
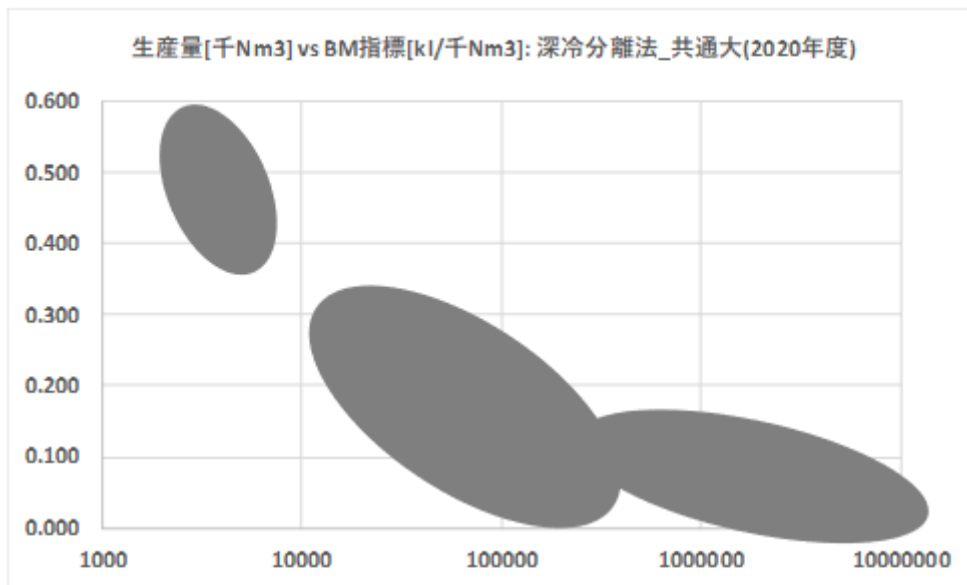


図 2.3-1(1) ベンチマーク指標案 : ①全体



データ数	43	深冷分離法に占めるエネルギーカバー率
最小		82%
平均	0.170	
最大		
標準偏差	0.099	
変動係数	0.581	

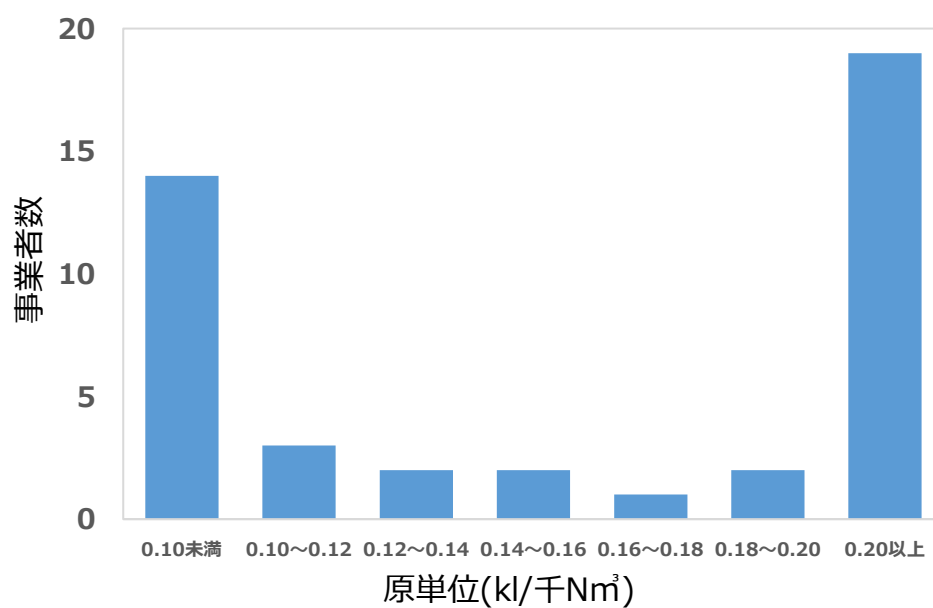
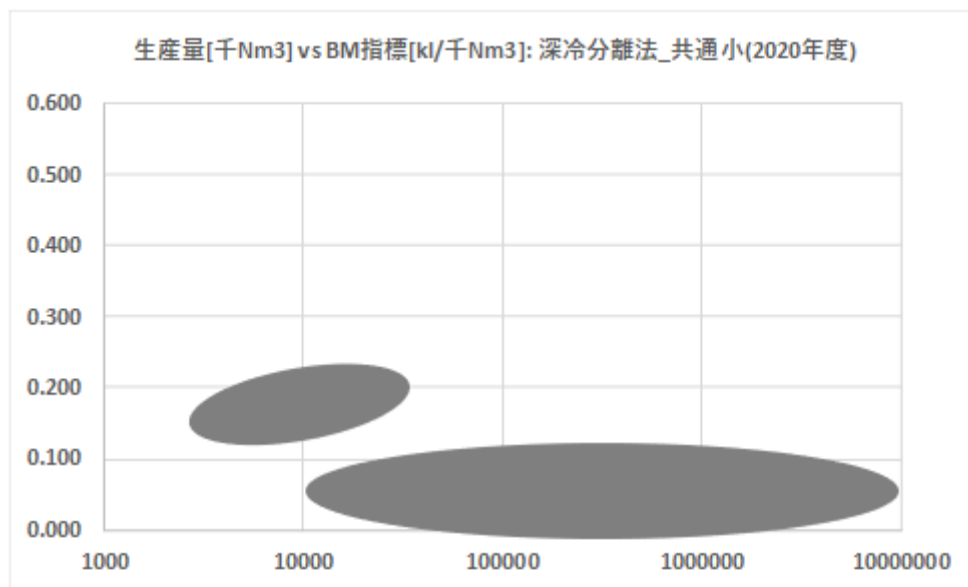


図 2.3-1(2) ベンチマーク指標案：②共通大



データ数	40	深冷分離法に占めるエネルギーカバー率
最小		59%
平均	0.058	
最大		
標準偏差	0.031	
変動係数	0.537	

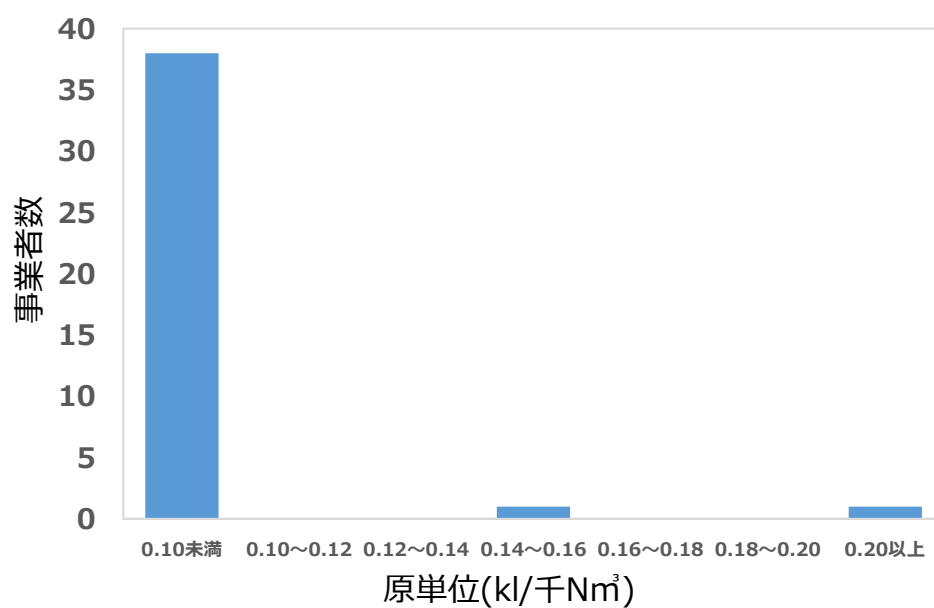
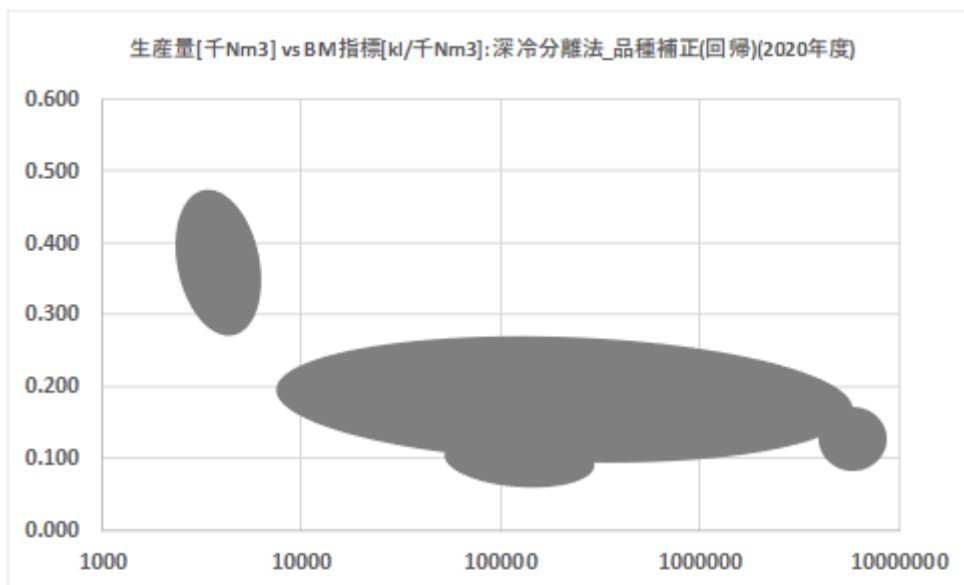


図 2.3-1(3) ベンチマーク指標案：③共通小



データ数	43	深冷分離法に占めるエネルギーカバー率
最小		82%
平均	0.170	
最大		
標準偏差	0.062	
変動係数	0.365	

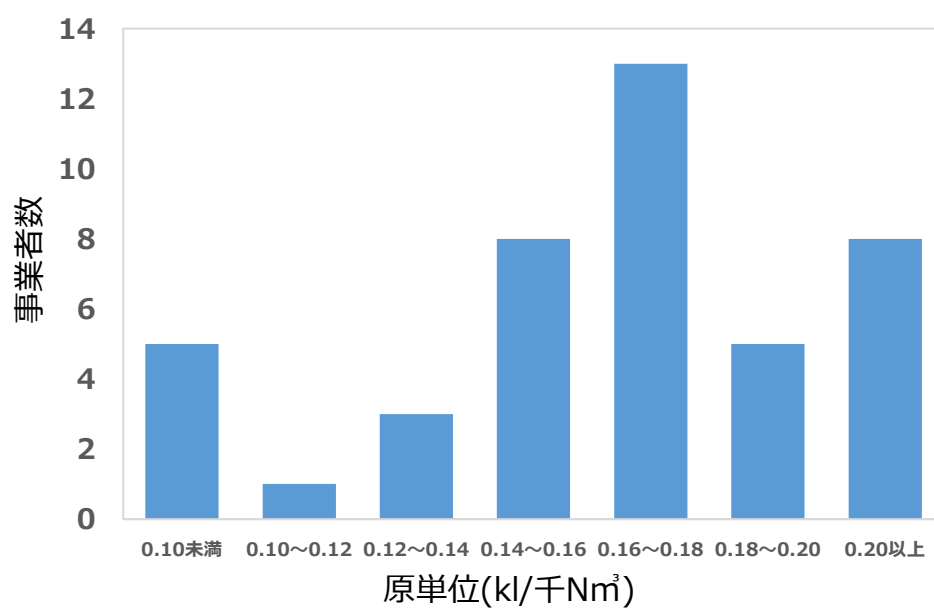
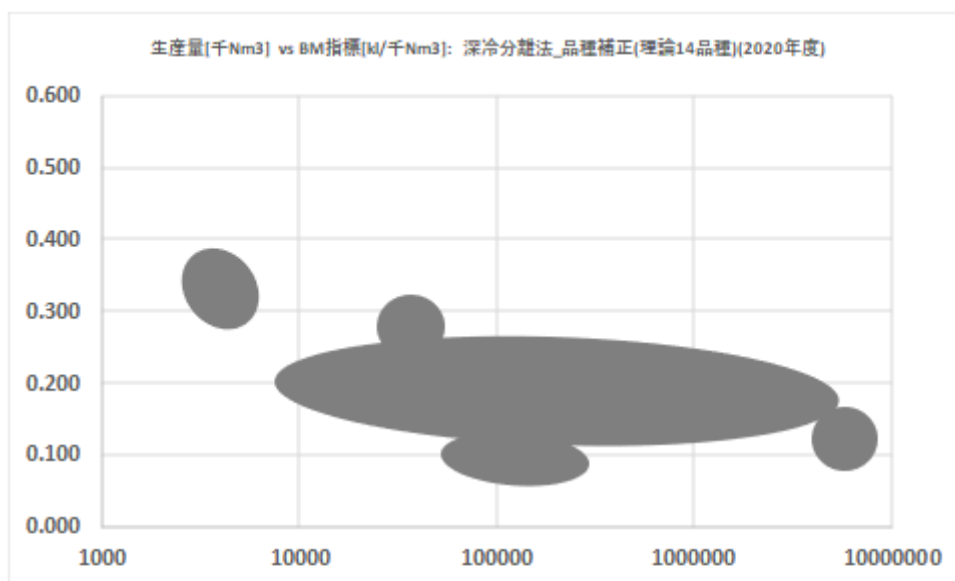


図 2.3-1(4) ベンチマーク指標案：④品種補正（回帰）



データ数	43	深冷分離法に占めるエネルギーカバー率
最小		100%
平均	0.178	
最大		
標準偏差	0.054	
変動係数	0.306	

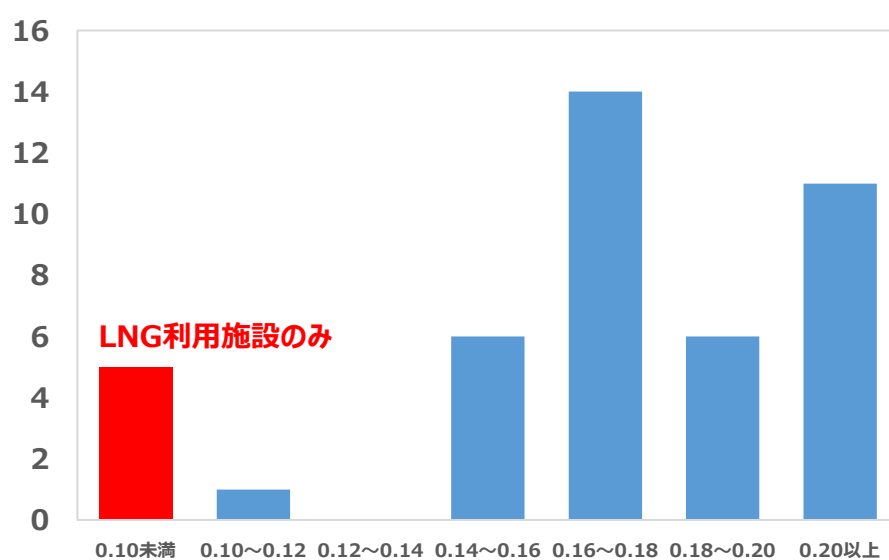


図 2.3-1(5) ベンチマーク指標案：⑤品種補正（理論）

表 2.3-1 ベンチマーク指標案の比較

(2016 年度)

	①全体	②共通大	③共通小	④品種補正 (回帰)	⑤品種補正 (理論)
エネルギー カバー率	100%	81%	59%	81%	100%
平均 [k1/千 Nm ³]	0.170	0.162	0.056	0.167	0.171
変動係数	0.523	0.576	0.523	0.335	0.293

(2017 年度)

	①全体	②共通大	③共通小	④品種補正 (回帰)	⑤品種補正 (理論)
エネルギー カバー率	100%	81%	59%	81%	100%
平均 [k1/千 Nm ³]	0.171	0.162	0.057	0.167	0.172
変動係数	0.527	0.579	0.521	0.342	0.297

(2018 年度)

	①全体	②共通大	③共通小	④品種補正 (回帰)	⑤品種補正 (理論)
エネルギー カバー率	100%	81%	60%	81%	100%
平均 [k1/千 Nm ³]	0.171	0.163	0.056	0.167	0.172
変動係数	0.520	0.570	0.530	0.340	0.293

(2019 年度)

	①全体	②共通大	③共通小	④品種補正 (回帰)	⑤品種補正 (理論)
エネルギー カバー率	100%	81%	60%	81%	100%
平均 [k1/千 Nm ³]	0.174	0.166	0.056	0.167	0.174
変動係数	0.517	0.566	0.536	0.347	0.290

(2020 年度)

	①全体	②共通大	③共通小	④品種補正 (回帰)	⑤品種補正 (理論)
エネルギー カバー率	100%	82%	59%	82%	100%
平均 [k1/千 Nm ³]	0.178	0.170	0.058	0.170	0.178
変動係数	0.535	0.581	0.537	0.365	0.306

2.4. ベンチマーク指標の計算方法

2.4.1. 計算式

ベンチマーク指標の計算式は次式による。シンプルな原単位（E/P）に対し補正係数を乗じることで、製品別のエネルギー消費原単位の違いを補正する。

具体的には、補正係数は、基準となる製品構成に換算したエネルギー使用量を、製造品種を考慮したエネルギー使用量（製品別原単位（固定値）を用いて計算した値）で除したものである。ここで、製品ごとのエネルギー消費原単位は固定値として与える。

$$Benchmark_index = \frac{E}{P} \cdot \frac{G \cdot P}{\sum G_i \cdot P_i}$$

ここで（赤字は固定値）、

i : 製品等（原料空気、圧縮ガス 11 区分、液化ガス 3 区分（LN₂, LO₂, LAr））

E : エネルギー使用量(kl)

P : 生産量(千 Nm³) : 窒素、酸素、アルゴン、ドライエアーの合計

P_i : 製品等別生産量等(千 Nm³)

分離エネルギーは原料空気量に比例して増加すると考えられるため、
下式により原料空気換算量を推計する。

$\max(\text{N}_2 \text{ 生産量}/0.78084, \text{O}_2 \text{ 生産量}/0.20946, \text{Ar 生産量}/0.00934)$

G_i : 製品等別理論エネルギー消費原単位(MJ/Nm³)【固定値：表 2.2-5】

G : 基準エネルギー消費原単位(MJ/Nm³)【固定値：1.481】⁹

2.4.2. 計算手順

計算例を表 2.4-1 に示す。計算手順は以下のとおり。

① 製品別生産量・エネルギー使用量の把握

表 2.4-1 の「事業者データ」に相当する製品別生産量及びエネルギー使用量のデータを把握する。本例では生産量 13600 千 Nm³、エネルギー使用量 2300kl。

② 原料空気換算量の計算

$$\begin{aligned} & \max(\text{N}_2 \text{ 生産量}/0.78084, \text{O}_2 \text{ 生産量}/0.20946, \text{Ar 生産量}/0.00934) \\ & = \max(10200/0.78084, 3200/0.20946, 200/0.00934) = 21413[\text{千 Nm}^3] \end{aligned}$$

③ 補正係数の計算

$$\begin{aligned} & (1.481 \times 13600) \div ((0.236 \times 21413) + (0.260 \times 2800) + (0.476 \times 500) \\ & \quad + (1.586 \times 7400) + (1.500 \times 2700) + (1.493 \times 200)) = 0.911 \end{aligned}$$

④ ベンチマーク指標の計算

$$(2300 \div 13600) \times 0.911 = 0.169 \times 0.911 = 0.154[\text{kl}/\text{千 Nm}^3]$$

⁹ 基準エネルギー消費原単位は、2020 年度の補正後のベンチマーク指標の平均値が補正前の平均値（0.178kl/千 Nm³）を再現するように設定した。

表 2.4-1 ベンチマーク指標の計算例

事業者データ

固定値

品種	圧力区分	生産量 [千Nm ³]	圧縮/液化原単位 [MJ/Nm ³]
ガス窒素	0.0～0.5MPaG	0	0.146
ガス窒素	0.5～1.0MPaG	2800	0.260
ガス窒素	1.0～1.5MPaG	0	0.323
ガス窒素	1.5～2.0MPaG	0	0.367
ガス窒素	2.0～2.5MPaG	0	0.402
ガス窒素	2.5～3.0MPaG	0	0.431
ガス窒素	3.0～3.5MPaG	0	0.455
ガス窒素	3.5～4.0MPaG	0	0.476
ガス窒素	4.0～4.5MPaG	0	0.495
ガス窒素	4.5～5.0MPaG	0	0.512
ガス窒素	5.0MPaG～	0	0.520
液化窒素	-	7400	1.586
窒素	-	10200	-

78.084%

品種	圧力区分	生産量 [千Nm ³]	圧縮/液化原単位 [MJ/Nm ³]
ガス酸素	0.0～0.5MPaG	0	0.146
ガス酸素	0.5～1.0MPaG	0	0.260
ガス酸素	1.0～1.5MPaG	0	0.323
ガス酸素	1.5～2.0MPaG	0	0.367
ガス酸素	2.0～2.5MPaG	0	0.402
ガス酸素	2.5～3.0MPaG	0	0.431
ガス酸素	3.0～3.5MPaG	0	0.455
ガス酸素	3.5～4.0MPaG	500	0.476
ガス酸素	4.0～4.5MPaG	0	0.495
ガス酸素	4.5～5.0MPaG	0	0.512
ガス酸素	5.0MPaG～	0	0.520
液化酸素	-	2700	1.500
酸素	-	3200	-

20.946%

品種	圧力区分	生産量 [千Nm ³]	圧縮/液化原単位 [MJ/Nm ³]
ガスアルゴン	0.0～0.5MPaG	0	0.146
ガスアルゴン	0.5～1.0MPaG	0	0.260
ガスアルゴン	1.0～1.5MPaG	0	0.323
ガスアルゴン	1.5～2.0MPaG	0	0.367
ガスアルゴン	2.0～2.5MPaG	0	0.402
ガスアルゴン	2.5～3.0MPaG	0	0.431
ガスアルゴン	3.0～3.5MPaG	0	0.455
ガスアルゴン	3.5～4.0MPaG	0	0.476
ガスアルゴン	4.0～4.5MPaG	0	0.495
ガスアルゴン	4.5～5.0MPaG	0	0.512
ガスアルゴン	5.0MPaG～	0	0.520
液化アルゴン	-	200	1.493
アルゴン	-	200	-

0.934%

品種	圧力区分	生産量 [千Nm ³]	圧縮/液化原単位 [MJ/Nm ³]
ドライエア	0.0～0.5MPaG	0	0.146
ドライエア	0.5～1.0MPaG	0	0.260
ドライエア	1.0～1.5MPaG	0	0.323
ドライエア	1.5～2.0MPaG	0	0.367
ドライエア	2.0～2.5MPaG	0	0.402
ドライエア	2.5～3.0MPaG	0	0.431
ドライエア	3.0～3.5MPaG	0	0.455
ドライエア	3.5～4.0MPaG	0	0.476
ドライエア	4.0～4.5MPaG	0	0.495
ドライエア	4.5～5.0MPaG	0	0.512
ドライエア	5.0MPaG～	0	0.520
合計	-	0	-

生産量	13600	千Nm ³
原料空気量	21413	千Nm ³
分離原単位	0.236	MJ/Nm ³
基準原単位	1.481	MJ/Nm ³
補正係数	0.911	-
エネルギー消費量	2300	kl
補正前BM	0.169	kl/千Nm ³
補正後BM	0.154	kl/千Nm ³

注：ガス窒素は低純度ガス窒素を含む。

2.5. ベンチマーク目標値の設定

ベンチマーク目標値の設定に当たっては、補正後であっても、LNG 冷熱利用事業者の原単位（2020 年度の平均：0.081）がその他事業者（同：0.190）と比較し大幅に小さい点について検討する必要がある。

LNG 冷熱の利用については事業者の省エネ取組と見なせる一方、工場の立地等により LNG 冷熱を利用できない事業者が多数存在することを踏まえ、表 2.5-1 のとおり、全ての事業所で LNG 冷熱を利用している事業者と、それ以外の事業者（一部事業所で LNG 冷熱を利用する事業者も含む）に分けて、それぞれ目標値を設定することとした。

2020 年度実績を基に算出すると、達成事業者数は LNG 冷熱利用事業者で 1/5 者（20%）、その他事業者で 6/38 者（15.8%）となる。

表 2.5-1(1) ベンチマーク目標達成事業者の推移（LNG 冷熱利用事業者）

目標値 (kl/千 Nm ³)	根拠	達成事業者数(達成率)				
		2016	2017	2018	2019	2020
0.077	2020 年度の平均値- σ	2 (40%)	1 (20%)	2 (40%)	2 (40%)	1 (20%)
	データ数	5	5	5	5	5
	平均	0.079	0.080	0.079	0.081	0.081
	標準偏差	0.004	0.004	0.005	0.006	0.004

表 2.5-1(2) ベンチマーク目標達成事業者の推移（その他事業者）

目標値 (kl/千 Nm ³)	根拠	達成事業者数(達成率)				
		2016	2017	2018	2019	2020
0.157	2020 年度において上位 15% 程度が達成する水準	5 (14.3%)	5 (14.3%)	5 (13.9%)	5 (13.2%)	6 (15.8%)
	データ数	35	35	36	38	38
	平均	0.184	0.185	0.185	0.186	0.190
	標準偏差	0.038	0.040	0.039	0.040	0.044

2.6. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証

主要国の類似制度（米国・EU・中国）において、圧縮ガス・液化ガス製造業の製品ベンチマークを設定している事例は確認できなかった。¹⁰

¹⁰ 中国の MEPS 基準では空気圧縮機のエネルギー効率基準が定められている（GB 19153-2019）。

第3章 自動車製造業の検討状況

3.1. 事業の概要及びベンチマーク制度導入検討の背景

本章では自動車製造業をベンチマーク制度の対象業種とできるか検討を行う。

自動車製造業は、日本標準産業分類の「自動車製造業（二輪自動車を含む）（細分類番号 3111）」に該当し、主として各種自動車（二輪自動車を含む）の完成品及び自動車シャシーの製造並びに組み立てを行う事業者を指す。「自動車製造業（二輪自動車を含む）」が属する自動車・同附属品製造業には、その他にも、「自動車車体・附随車製造業（同 3112）」¹¹や、「自動車部分品・附属品製造業（同 3113）」¹²が存在する。

このように自動車・同附属品製造業は、完成品の組み立てからシャシー製造や部品製造といった多岐に渡る製品・工程を含むため、これらを網羅した上で事業者間の平仄を合わせることは困難である。そこで本調査では、事業者間の比較可能性を担保するため、「自動車製造業（二輪自動車を含む）」のうち、主として四輪車の車体製造・組立を行う車両工場を有する事業者を調査対象とした。

3.2. 調査票による実態調査の実施状況

3.2.1. 調査票の様式

本調査では、業界団体と議論を行った上で表 3.2-1 から表 3.2-7 に示す調査票を作成した。調査対象は、上述の通り、四輪車の車体製造・組立を行う車両工場を有する事業者を対象とした。車体製造・組立工程は、図 2.2-1 にて示すように①プレス加工、②溶接、③塗装、④車体組立、⑤検査・出荷の工程から構成されている。この点を鑑み、エネルギー使用量は工程別に回答を求めた。併せて、車両工場において、車体製造・組立工程以外の工程も有することを想定し、部品製造工程、エンジン製造工程、その他の工程についても、エネルギー使用量の回答欄を設けた。

生産量については四輪車の生産台数¹³とした。生産台数は、製造車種構成の違いによる影響を検討するために、道路運送車両法上の区分に基づく車の大きさ別（普通自動車、軽自動車等）及び動力源別（ガソリン・ディーゼル車、EV 等）の回答を求めた。なお、エネルギー使用量及び生産台数の調査期間は 2016 年度から 2020 年度の 5 カ年分とした。

これらのエネルギー使用量や生産量以外にも、保有するプロセスの有無や省エネ法の定期報告におけるエネルギー使用量、省エネ取組やベンチマーク指標を設定する際の意見等についても調査を行った。

¹¹ 主として自動車車体の製造並びに車体のシャシー組付けを行う事業者を指す。

¹² 主として自動車の部分品を製造する事業者を指す。

¹³ 生産量に関しては、その他にも工程別の通過台数や生産金額に関しても調査を行ったが、分析に適した回答数を得られなかったため割愛する。

3.2.2. 配布・回収状況

調査対象事業者の選定に当たっては、業界団体ホームページや省エネ法の定期報告等に基づき、事業者をリストアップした。その上で、ホームページ等において車両工場を有する事業者であることを確認できた 25 者を対象とした。25 者¹⁴へ調査票を送付した結果、18 者¹⁵より回答を得た(回収率 72%)¹⁶。

¹⁴ 25 者へ送付したが、1 者は本年度で事業を終了する予定のため、回答を得られなかった。

¹⁵ その他にも 1 者より回答を得られたが、回答項目が少なく分析が困難であったため、分析対象から除いた。

¹⁶ 調査票回収期間は 2021 年 7 月 21 日から 11 月 8 日(調査票の修正を含む)である。

表 3.2-1 プロセス毎のエネルギー使用量・通過台数(その1)

区分	プロセス	省エネ法の報告対象																								
		通過台数(台) (各プロセスを通過した台数)					エネルギー使用量 ^{※1}																			
							電力使用量(kJ) ^{※2} (購入分)					化石燃料使用量(kJ) ^{※3}					熱使用量(kJ) ^{※4} (購入分)					省エネ法対象:合計(kJ)				
		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
車体製造・組立工程	プレス加工																									
	溶接																									
	塗装																									
	車体組立																									
	検査・出荷																									
部品製造工程 (製造部品名を備考欄に記入)																										
エンジン製造工程																										
その他1(備考欄に具体的に記入)																										
その他2(備考欄に具体的に記入)																										
その他3(備考欄に具体的に記入)																										
合計																										

表 3.2-2 プロセス毎のエネルギー使用量・通過台数(その2)

区分	プロセス	エネルギー使用量 ^{※1}															備考
		再エネ電力使用量(MWh) ^{※5}					非化石燃料等使用量(kJ) ^{※6}					省エネ法対象外:合計(kJ)					
		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	
車体製造・組立工程	プレス加工																
	溶接																
	塗装																
	車体組立																
	検査・出荷																
部品製造工程（製造部品名を備考欄に記入）																	
エンジン製造工程																	
その他1（備考欄に具体的に記入）																	
その他2（備考欄に具体的に記入）																	
その他3（備考欄に具体的に記入）																	
合計																	

表 3.2-3 車種毎の生産台数・生産金額

区分	燃料・動力源別	車種品目名	生産台数(台)					生産金額(百万円)				
			2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
乗用車	ガソリン車・ディーゼル車 (以下の①から④を除く)	軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車										
	①電気自動車	軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車										
	②プラグインハイブリッド車	軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車										
	③ハイブリッド車 (①電気自動車・②プラグインハイブリッド車を除く)	軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車										
	④燃料電池車	軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車										
バス		小型バス										
		大型バス										
トラック		軽自動車										
		小型自動車										
		普通自動車(けん引車・特殊自動車・トレーラーを除く)										
		けん引車										
その他		その他1(備考欄に具体的に記入)										
		その他2(備考欄に具体的に記入)										
		その他3(備考欄に具体的に記入)										
二輪自動車												
合計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3.2-4 保有する生産プロセス等(その1)

区分	プロセス	該当	備考(エネルギー使用量に影響を与えると思われる設備要因(特殊設備等)があれば、具体的に記入してください。)
車体製造工程	プレス加工		
	溶接		
	塗装		
車体組立工程	車体組立		
	検査・出荷		
その他	工場内で生産された完成車に用いない部品製造・ユニット加工・組立品の製造(社内融通を除く他社向け部品や、ノックダウン生産等)の有無		
本調査は完成車(四輪)を生産する「車体製造・組立工程」を有する工場が対象です。車体のみを製造する工場や部品のみを製造する工場は対象外です。 二輪自動車のみを生産されている工場は、本調査の対象外です。 以下の部品製造工程やエンジン製造工程等については、上記の車体製造・組立工程を有する同一工場内に該当する工程がある場合のみご記入ください。			
エンジン製造工程	鋳造		
	鍛造		
	機械加工		
	熱処理		
	ユニット加工・組立		
	検査・出荷		

表 3.2-5 保有する生産プロセス等(その2)

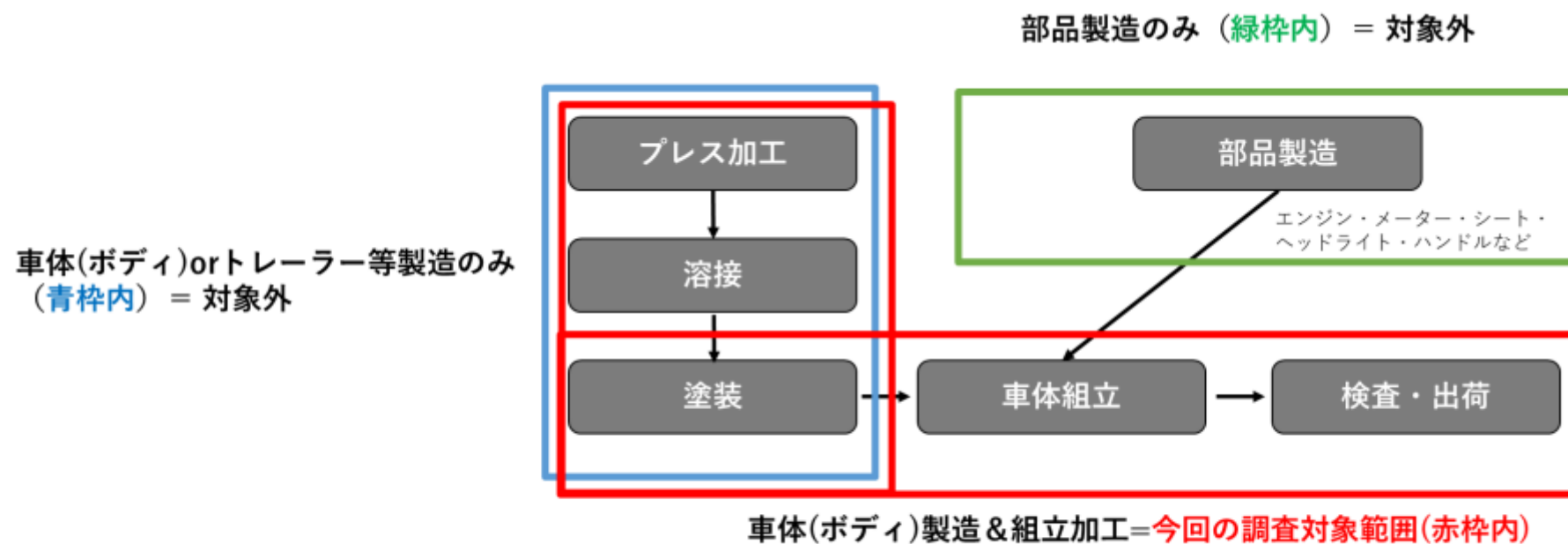
区分	プロセス	該当	備考(エネルギー使用量に影響を与えると思われる設備要因(特殊設備等)があれば、具体的に記入してください。)
部品製造工程	プレス加工		
	溶接		
	塗装		
	溶接		
	鋳造		
	鍛造		
	機械加工		
	熱処理		
	樹脂成形		
	粉末冶金		
	表面処理		
	その他1(備考欄に具体的に記入)		
	その他2(備考欄に具体的に記入)		
	その他3(備考欄に具体的に記入)		
	ユニット加工・組立		
	検査・出荷		

表 3.2-6 省エネ法の定期報告におけるエネルギー使用量

事業分類	細分類番号	エネルギー使用量(原油換算kl)					備考
報告年度(定期報告書を提出する年度)		平成29年度 定期報告分	平成30年度 定期報告分	令和元年度 定期報告分	令和2年度定 期報告分	令和3年度定 期報告分	
実績年度(エネルギーを実際に消費した年度)		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	
自動車製造業(二輪自動車を含む)	3111						
自動車車体・附随車製造業	3112						
自動車部分品・附属品製造業	3113						
合計		0	0	0	0	0	

表 3.2-7 その他質問事項

番号	質問事項	自由記述欄
Q1	貴社で実施されている、自動車製造業に係る省エネ取組みをご教示ください。	
Q2	貴社で今後検討中、検討可能な自動車製造業製造業に係る省エネ取組みをご教示ください。	
Q3	ベンチマーク指標を設定する場合、生産量、エネルギー使用量の対象範囲(バウンダリー)について、懸念事項等がございましたらご教示ください。	



注：二輪自動車のみを製造している工場は対象外

図 3.2-1 自動車製造業における対象工程

3.2.3. データの概要

(1) 主な調査項目の回答状況とエネルギー使用量

主な調査項目の回答状況を表 3.2-8 に示す。車体製造・組立工程のうち、プレス加工と検査・出荷を除く、全ての工程において全事業者よりエネルギー使用量の回答を得た。プレス加工において未回答の事業者は 2 者存在し、これらの事業者は同工程を有しないと回答した。検査・出荷の回答がない 4 者は前工程の車体組立と合算してエネルギー使用量を報告した。また、車両工場にて、車体製造・組立工程以外の何らかの工程を有すると回答した事業者は 12 者であった。なお、生産台数に関しては全事業者から回答を得た。

工程別エネルギー使用量¹⁷(表 3.2-9)をみると、車体製造・組立工程におけるエネルギー使用量の割合が最も高く約 70%を占める。車体製造・組立工程のエネルギー使用量は、塗装によるものが大半を占め、同工程の約 65%に相当する。プレス加工の工程が存在しないと回答した事業者が存在したが、同工程におけるエネルギー使用量は車体製造・組立工程のうちで下位 2 番めであり、約 8%に過ぎない。そのため、今後の分析において大きな影響を及ぼさないと判断し、以降の分析においてもプレス加工が存在しないとした事業者も含めて分析した。

¹⁷ 本章におけるエネルギー使用量とは、省エネルギー法の定期報告の対象となる化石エネルギー使用量を指す。定期報告の対象外である再生可能エネルギー使用量についても調査を行ったが、全体のエネルギー使用量の約 1%であったため、エネルギー使用量に含めないことにした。

表 3.2-8 エネルギー使用量及び生産台数の回答状況

	エネルギー使用量の回答						生産台数の 回答
	車体製造・組立工程					車体製造・ 組立工程以外 (部品・エンジ ン・その他)	
	プレス加工	溶接	塗装	車体組立	検査・出荷		
回答事業者数	16	18	18	18	14	12	18
回答率	89%	100%	100%	100%	78%	67%	100%

表 3.2-9 工程別エネルギー使用量の割合

単位:%	車体製造・組立工程 (塗装等のプロセスの比率は車体製造・組立工程を100%とした値)						部品製造 工程	エンジン 製造工程	その他
年度	プレス加工	溶接	塗装	車体組立	検査出荷	合計 (車体製造・組立 工程)			
2016年度	8.04%	15.16%	65.04%	10.59%	1.17%	73.90%	4.78%	12.53%	8.79%
2017年度	7.85%	14.61%	65.70%	10.63%	1.21%	73.71%	4.67%	12.73%	8.89%
2018年度	7.89%	14.85%	65.48%	10.54%	1.24%	73.26%	4.83%	12.89%	9.02%
2019年度	7.99%	15.11%	64.94%	10.67%	1.29%	74.13%	4.77%	11.96%	9.14%
2020年度	7.73%	14.70%	65.64%	10.51%	1.42%	74.69%	4.90%	11.23%	9.18%
加重平均(2016年度-2020年度)	7.90%	14.89%	65.36%	10.59%	1.26%	73.92%	4.79%	12.29%	9.00%

(2) 生産台数

車の大きさ別生産台数の割合(表 3.2-10)をみると、全体の生産台数の90%以上を乗用車が占めることがわかる。乗用車のうち普通自動車の生産台数の割合が最も高く全体の生産台数の50%以上を占める。

生産台数の割合を動力源別(表 3.2-11)にみるとガソリン・ディーゼル車が全体の生産台数の約80%を占め、HVが約18%を占める。EVやFCV、PHVは全体の生産台数の約2%に留まる。

表 3.2-10 車の大きさ別生産台数の割合

単位: %	車の大きさ別							
	乗用車	内訳			トラック	バス	その他	合計 (車の大きさ別)
うち普通自動車		うち小型自動車	うち軽自動車					
年度								
2016年度	93.10%	57.00%	17.57%	18.53%	6.70%	0.21%	0.00%	100.00%
2017年度	92.95%	55.60%	17.52%	19.83%	7.00%	0.05%	0.00%	100.00%
2018年度	92.20%	55.94%	15.88%	20.37%	7.73%	0.05%	0.03%	100.00%
2019年度	92.70%	57.39%	15.45%	19.87%	7.24%	0.05%	0.01%	100.00%
2020年度	92.58%	54.31%	16.29%	21.99%	7.39%	0.02%	0.01%	100.00%
加重平均(2016年度-2020年度)	92.70%	56.09%	16.54%	20.07%	7.21%	0.08%	0.01%	100.00%

表 3.2-11 動力源別生産台数の割合

単位: %	動力源別					合計 (動力源別)
	ガソリン車・ディーゼル車	HV	PHV	EV	FCV	
年度						
2016年度	84.03%	15.09%	0.56%	0.21%	0.12%	100.00%
2017年度	82.88%	15.62%	1.05%	0.35%	0.10%	100.00%
2018年度	81.71%	16.87%	1.06%	0.29%	0.07%	100.00%
2019年度	77.81%	20.72%	1.17%	0.26%	0.05%	100.00%
2020年度	74.20%	23.50%	1.76%	0.46%	0.07%	100.00%
加重平均(2016年度-2020年度)	80.28%	18.23%	1.11%	0.31%	0.08%	100.00%

(3) エネルギー消費原単位と分析対象範囲の検討

車両工場におけるエネルギー消費原単位の変動係数(表 3.2-12)は、5年単純平均で1.34であり、事業者間のエネルギー消費原単位のばらつきが著しく大きい。この要因としては、以下の3点が挙げられる。

- 要因①：乗用車やバスといった製造する車両が大きく異なる事業者が含まれること
- 要因②：車両工場内に部品製造工程など車体製造・組立工程以外の工程を有する事業者が存在すること
- 要因③：乗用車など同一の車両区分であっても車の大きさや動力源といった製品構成が事業者毎に異なること

上記の3つの要因について、それぞれ、次のように対応した。「要因①：乗用車やバスといった製造する車両が大きく異なる事業者が含まれること」に対しては、主に乗用車を製造する事業者(以降、「乗用車製造事業者」という。)と、それ以外の車両であるトラックやバス等を主に製造する事業者(以降、「トラック等製造事業者」という。)に分ける。

「要因②：車両工場内に部品製造工程など車体製造・組立工程以外の工程を有する事業者が存在すること」に対しては、車両工場全体のエネルギー使用量ではなく、事業者間の比較が可能となるように、車体製造・組立工程のみに統一する。

「要因③：乗用車など同一の車両区分であっても車の大きさや動力源といった製品構成が事業者毎に異なること」に関しては、本調査では製品構成とエネルギー使用量のデータが紐づく形で取得することができず、要因①や要因②のようにデータを切り分けることができない。そのため、要因③に対しては、次節以降で製品構成に基づきエネルギー消費原単位を補正する。

要因①と要因②に対応したエネルギー消費原単位(表 3.2-13)をみると、エネルギー消費原単位は乗用車製造事業者とトラック等製造事業者の間で4倍以上の差異が生じている。また、エネルギー消費原単位の変動係数は、製造事業者を分ける前と比較して、いずれの製造事業者においてもばらつきが縮小していることが示されている。ただし、トラック等製造事業者においては、その変動係数は0.877(車両工場)と1.140(車体製造・組立工程)であり、依然としてばらつきが大きい。他方で、乗用車製造事業者においては、いずれの変動係数も0.3未満とばらつきが大きく改善される。さらに、対象プロセスを車体製造・組立工程に限定することで、車両工場全体を対象プロセスとする際と比較して、エネルギー消費原単位のばらつきが縮小することも明らかになった。

乗用車製造事業者のみを対象とすることを念頭に、乗用車製造事業者とトラック等製造事業者のエネルギー使用量や生産台数(図 3.2-2)を確認する。いずれにおいても乗用車製造事業者が全体の90%以上を占めていることから、製造事業者は乗用車製造事業者のみを対象とする。

ここまでの分析結果から、エネルギー消費原単位は、乗用車製造事業者のみを対象とし、車体製造・組立工程のエネルギー使用量を用いることが妥当であると考えられる。

表 3.2-12 車両工場のエネルギー消費原単位と変動係数

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	5年単純平均
平均エネルギー消費原単位(kl/台)	0.233	0.241	0.241	0.248	0.282	0.249
変動係数	1.293	1.347	1.250	1.213	1.499	1.341

表 3.2-13 製造事業者別エネルギー消費原単位と変動係数

エネルギー使用量の範囲	エネルギー消費原単位 (kl/台、5年単純平均)		変動係数	
	乗用車 製造事業者 (13者)	トラック等 製造事業者 (5者)	乗用車 製造事業者 (13者)	トラック等 製造事業者 (5者)
車両工場	0.129	0.589	0.294	0.877
車体製造・組立工程	0.103	0.492	0.263	1.140

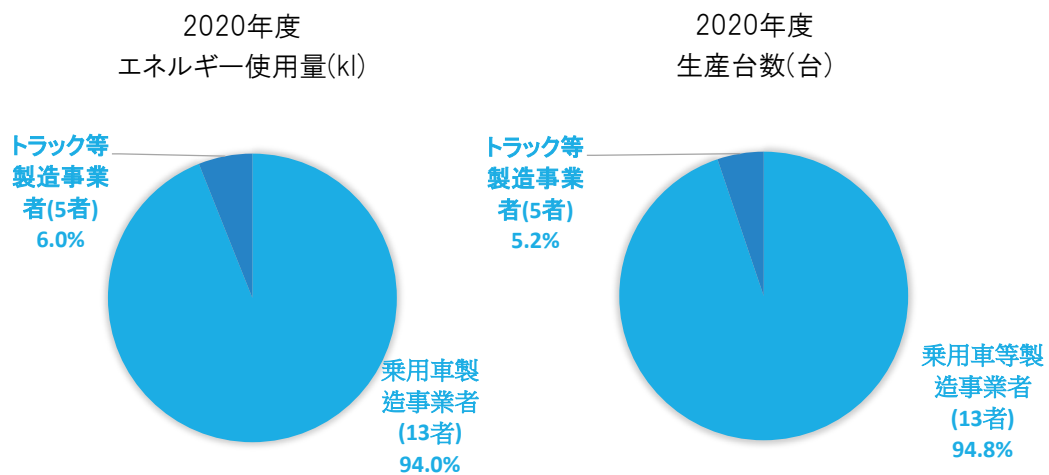


図 3.2-2 製造事業者別エネルギー使用量(車体製造・組立工程)と生産台数(2020年度)

3.3. ベンチマーク指標の検討

前節の分析結果に基づき、エネルギー消費原単位は乗用車製造事業者の車体製造・組立工程を対象とする。他方で、対象や工程を限定したエネルギー消費原単位においても、一定のばらつきが認められる。そのため、本節では回帰分析によって品種別エネルギー消費原単位を推計し、その結果を用いて補正を行う。

3.3.1. 品種別エネルギー消費原単位の推計

前節の分析より、省エネ努力とはみなせない製造する車の大きさがエネルギー消費原単位に影響することが示唆された。そこで、省エネ努力以外の要因である車の大きさによる影響を補正するために、回帰分析によって車の大きさ別のエネルギー消費原単位を推計する。使用するデータは2016年度から2020年度までの表3.3-1に示す変数を用いる。対象事業者は乗用車製造事業者である13者(N=64¹⁸)が対象である。

一部の変数は個社補正や多重共線性を避けるために統合している。具体的には、同様の傾向を表す変数を集約した。すなわち、生産比率が増加するとエネルギー消費原単位が高くなる傾向を示す乗用車の「普通自動車」と「小型自動車」、生産比率が増加するとエネルギー消費原単位が低くなる傾向を示す乗用車の「軽自動車」とトラックの「軽自動車と小型自動車(以降、「軽トラック等」という。)」をそれぞれ統合した。

被説明変数を「エネルギー使用量」、説明変数を「普通自動車・小型自動車生産台数」と「軽自動車・軽トラック等生産台数」とするモデルの回帰分析¹⁹を行った結果を表3.3-2に示す。いずれの変数においても有意な結果が得られ、「普通自動車・小型自動車」のエネルギー消費原単位は0.120k1/台、「軽自動車・軽トラック等」のエネルギー消費原単位は0.068k1/台とする推計結果が得られた。

さらに、工程別のエネルギー消費原単位への寄与を明らかにするために、被説明を各工程のエネルギー消費量とする回帰分析を行った結果を表3.3-3に示す。工程別エネルギー消費原単位の推計結果を見ると、いずれの係数も有意であった。検査・出荷工程を除き、すべての工程において「普通自動車・小型自動車」のエネルギー消費原単位が、「軽自動車・軽トラック等」のエネルギー消費原単位を上回ることが明らかになった。検査・出荷工程のエネルギー消費原単位が逆転している要因としては、「普通自動車・小型自動車」を多く生産している一部の事業者において、「検査・出荷」のエネルギー使用量をゼロ（「車体組立」のエネルギー使用量と合算）と報告していることが、要因として考えられ

¹⁸ 本来は65サンプルであるが、1サンプルは2016年度においてバスの生産実績があるため除外した。

¹⁹ 本モデル以外にも被説明変数を「エネルギー消費原単位」、説明変数を「普通自動車・小型自動車生産比率」と「軽自動車・軽トラック生産比率」とするモデルも検討した。このモデルにおいても、いずれの説明変数も有意な結果が得られた。ただし、本文中の被説明変数を「エネルギー使用量」とするモデルの決定係数がより高かったため、本文中のモデルを採用した。

る。また、「普通自動車・小型自動車」と「軽自動車・軽トラック等」とともに、塗装工程のエネルギー消費原単位が最も高いとの結果が得られた。

表 3.3-1 使用したデータと統合状況

区分	統合前			統合後	単位
被説明変数 [結果：説明したいもの]	エネルギー使用量			エネルギー使用量	kl
車の大きさ [原因：説明変数]	生産台数	乗用車	普通自動車	普通自動車・小型自動車	台
			小型自動車		
			軽自動車		
		トラック	軽自動車	軽自動車・軽トラック等	
			小型自動車(1社)		

表 3.3-2 品種別エネルギー消費原単位の推計結果

被説明変数：エネルギー使用量(kl)	係数
(切片)	-2,312
普通自動車・小型自動車生産台数(台)	0.120***
軽自動車・軽トラック等生産台数(台)	0.068***

有意水準：*** $P < 1\%$, ** $p < 5\%$, * $p < 10\%$

決定係数：0.801

表 3.3-3 工程別エネルギー消費原単位の推計結果

被説明変数 (下記のエネルギー使用量)	①普通自動車・小型自動車 (生産台数)	②軽自動車・軽トラック等 (生産台数)
プレス加工	0.0142***	0.00571***
溶接	0.0196***	0.00588***
塗装	0.0713***	0.0516***
車体組立	0.0133***	0.00336***
検査・出荷	0.00129***	0.00155***

有意水準：*** $P < 1\%$, ** $p < 5\%$, * $p < 10\%$

3.3.2. 補正式

ベンチマーク指標の計算式は以下の式で表される。計算式は板紙製造業や電炉普通鋼製造業のベンチマーク指標と同様に、エネルギー消費原単位に補正係数を乗じることによって、車種別のエネルギー消費原単位の影響を補正する。補正係数は「自社の車種構成が業界平均的になった場合を想定したエネルギー使用量」と「自社の車種構成に基づくエネルギー使用量」の比である。

$$Benchmark_index = \frac{E}{P} \cdot \frac{G \cdot P}{\sum G_i \cdot P_i}$$

ここで（赤字は固定値）、

E : 車体製造・組立工程におけるエネルギー使用量(kl)

P : 生産台数(台) : ①普通自動車・小型自動車、②軽自動車・軽トラック等の合計

P_i : 製品別生産台数(台) :

① 普通自動車・小型自動車の生産台数、②軽自動車・軽トラック等の生産台数

G_i : 製品別エネルギー消費原単位(kl/台)

【固定値 : ①普通自動車・小型自動車 0.120kl/台、

②軽自動車・軽トラック等 0.068kl/台】

G : 基準エネルギー消費原単位(kl/台) 【固定値 : 0.103kl/台】²⁰

²⁰ 基準エネルギー消費原単位は、2016年度から2020年度の5年単純平均エネルギー消費原単位である。

3.3.3. 補正結果

補正式の妥当性を検証するために、過去のエネルギー消費原単位の補正を行った結果を表 3.3-4 に示す。表 3.3-4 より、補正を行った結果、いずれの年度においても補正前と比較して変動係数が縮小した。この変動係数の変化は、事業者間のエネルギー消費原単位のばらつきが縮小し、エネルギー消費原単位の平均が小さくなったことによる。

補正によって過去のエネルギー消費原単位のばらつきが縮小したことから、本調査において検討した補正式は一定の妥当性を有すると考えられる。

表 3.3-4 補正前後における変動係数の推移

	補正前	補正後
2016年度	0.242	0.233
2017年度	0.217	0.181
2018年度	0.262	0.190
2019年度	0.250	0.177
2020年度	0.303	0.222

3.3.4. 今後の課題

本調査の結果、乗用車製造事業者における車体製造・組立工程を対象としたエネルギー消費原単位を採用し、車の大きさによる原単位への影響を補正することによって、原単位のばらつきが小さくなることが明らかになった。他方で、本指標には以下のような課題も残されている。

(1) エネルギー使用量のカバー率

本調査では対象事業者や工程を限定することによって、事業者間の平仄を合わせ、エネルギー消費原単位のばらつきを縮小させた。一方で、対象や工程を限定することの課題として、補足されるエネルギー使用量が減少するといった点が挙げられる。乗用車製造事業者における車体製造・組立工程のエネルギー消費原単位によるエネルギー使用量のカバー率は約35%(図 3.3-1)に留まる。個々の事業者別にみると、他方で、約7割の事業者は、エネルギー使用量のカバー率が50%を超え、ベンチマーク目標を達成するとSクラス事業者として評価される。

このような課題を解決するためには、部品やエンジンといった車体製造・組立工程以外のプロセスを対象とする新たなベンチマーク指標を検討することが考えられる²¹。しかし、自動車部品は多種多様な品目を擁する上、事業者毎に内製品と外製品の比率も異なることから、比較可能かつ適切な指標を策定することは困難であると考えられる。

(2) EV・FCV等の生産拡大による環境の変化

部品製造工程を対象とするベンチマーク指標の策定を一層難しくする要因として、EV・FCV等の生産拡大による環境の変化が挙げられる。昨今の気候変動に対する取組強化を受け、今後はガソリン・ディーゼル車からEVやFCVへの移行が見込まれ、部品製造工程のエネルギー消費原単位にも影響を与えると考えられる。

また、このような電動化の潮流は、車体製造・組立工程のエネルギー消費原単位にも影響を及ぼす可能性もある。今後の自動車製造業の環境変化を踏まえ、必要に応じてベンチマーク指標の見直しを行う必要があると考えられる。

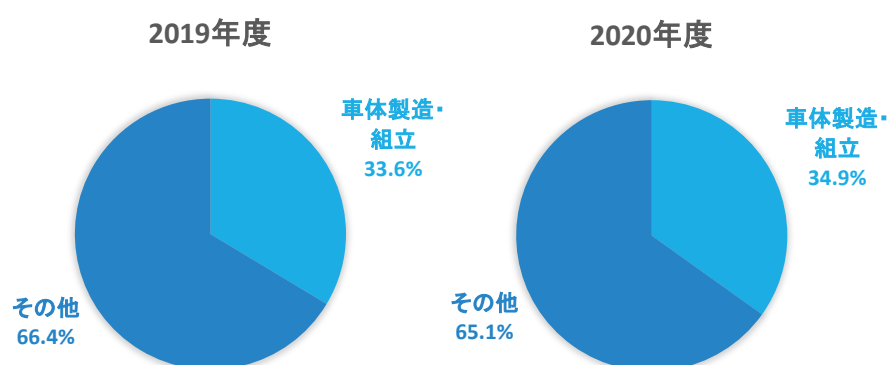
(3) エネルギー使用量におけるバウンダリーの検討

分析結果の議論を行う過程で、業界団体よりエネルギー使用量においてより詳細なバウンダリーの検討が必要ではないかとの提言がなされた。本調査においては、車体製造・組立工程のエネルギー使用量を対象としているが、共通部分である空調や照明、コンプレッサー、ボイラー、排水処理等に係るエネルギー使用量に関して、同工程のエネルギー使用量と見な

²¹ 他業種においても、例えば化学業のように複数のベンチマーク指標を導入し、カバー率を向上させている事例が存在する。(表 3.3-5)。

すかどうか、事業者間で扱いが異なる可能性が示唆された。このような業界団体からの提言を踏まえ、より詳細なバウンダリーを検討する必要がある。

バウンダリーの更なる検討に当たっては、事業者間及び工場間で計測可能な領域が異なる点に留意すべきであろう。バウンダリーを設定する際には、計測可能な領域と計測不可能な領域を詳細に調査した上で検討する方法も考えられるが、調査内容が煩雑になる上、事業者間のバウンダリーのすり合わせが難しいことが考えられる。詳細なバウンダリーの設定が困難な場合は、共通部分の扱い²²等の大まかなバウンダリーを設定した上で、非生産設備やその他の工程に関してはエネルギー使用量の計測が可能なケースにおいてのみ、控除することを認めるなどの簡便な手法を検討することも考えられる。



注：自動車業におけるエネルギー使用量は、省エネ法の定期報告に記載された事業分類ごとのエネルギー使用量(特定-第3表における「◎」)のうち、日本標準産業分類における「自動車製造業（二輪自動車を含む）」、「自動車車体・附随車製造業」、「自動車部分品・附属品製造業」に該当するエネルギー使用量の合計である。

図 3.3-1 自動車業におけるエネルギー使用量

²² 共通部分の扱いについては、バウンダリーに含めるか否かといった論点に加え、バウンダリーに含めるとしても、車体製造・組立工程以外の部品製造工程や非生産設備等にも共通部分のエネルギー使用量が係る場合に按分を認めるか否かや、その按分方法に関しても論点になると考えられる。

表 3.3-5 他業種とのカバー率の比較(2019 年度)

	業種	対象事業のエネルギー使用総量 (kl)	事業者全体 エネルギー使用 総量 (kl)	事業者全体に占める 対象事業のエネルギー 使用総量の割合	事業者数	一事業者あたりエネ ルギー使用量 (kl/事業者)
1 A	高炉による製鉄業	約4,986万	約5,484万	91%	3	約1,662万
1 B	電炉による普通鋼製造業	約299万	約307万	97%	32	約9.3万
1 C	電炉による特殊鋼製造業	約235万	約2,213万	11%	14	約17万
2	電力供給業	約14,988万	－	－	90	約167万
3	セメント製造業	約510万	約1,063万	48%	15	約34万
4 A	洋紙製造業	約379万	約536万	71%	16	約24万
4 B	板紙製造業	約204万	約398万	51%	34	約6.0万
5	石油精製業	約1,433万	約1,740万	82%	8	約179万
6 A	石油化学系基礎製品製造業	約553万	約2,222万	25%	10	約55万
6 B	ソーダ工業	約187万	約1,285万	15%	22	約8.5万
(参考)	自動車業	約81.2万	約241万	34%	13	約18.6万

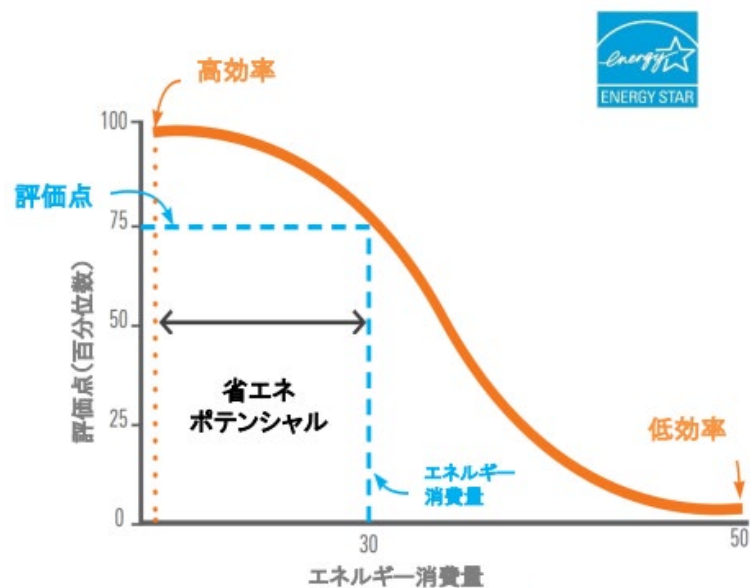
注：自動車製造業における事業者全体のエネルギー使用量は、省エネ法の定期報告に記載された事業分類ごとのエネルギー使用量(特定-第3表における「◎」)のうち、日本標準産業分類における「自動車製造業（二輪自動車を含む）」、「自動車車体・附随車製造業」、「自動車部分品・附属品製造業」に該当するエネルギー使用量であり、オフィス部門等を含んでいない可能性がある。

出所：「2021 年度第 1 回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 工場等判断基準ワーキンググループ 資料 4 省エネ法ベンチマーク制度の深掘り等について」より作成。

3.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証

主要国の類似制度としては、米国の自主的な省エネルギープログラムである ENERGY STAR において自動車製造業を対象としたベンチマーク制度が存在する。本制度は plant energy performance indicators (以降、EPIs) と呼称されており、工場の省エネルギー水準を評価するものである。EPIs は、図 3.4-1 に示すように上位 25%以上の省エネルギー水準を有する工場を高効率とみなし認証される。

同制度では自動車製造業以外にも、鉄鋼やセメント等の 8 産業 18 業種の指標が策定されている。自動車製造業においては、①組立工場、②エンジン工場、③トランスミッション工場において、ベンチマーク指標が策定されている。また、EPIs では、製品や環境等によって達成できる水準が異なることを踏まえ、回帰分析の結果を用いて目標水準を補正している。自動車製造業の EPIs における考慮されている要因である回帰分析の変数は表 3.4-1 の通りである。



出所：2019 年度第 1 回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 工場等判断基準ワーキンググループ 資料 3 海外諸国のエネルギー消費効率関係制度(日本エネルギー経済研究所提出資料)²³及び EPI Benchmarking Guide²⁴

図 3.4-1 EPIs の評価イメージ

²³

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/kojo_handan/pdf/2019_001_03_00.pdf

²⁴ https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/EPIBenchmarkingGuide_form.pdf

表 3.4-1 自動車製造業の EPIs において考慮している要因

工場	要因	変数名
組立工場	車格	前軸と後ろ軸の最大値
	稼働率	年間生産台数÷年間生産能力
	気温	外気温
		暖房度日
		冷房度日
エンジン工場	面積	
	稼働率	時間あたりの生産効率
	生産数	完成エンジン
		クランク軸
		エンジンブロック (シリンダーと冷却部の鋳物ブロック)
		エンジン(シリンダー)ヘッド
		カム軸
		コンロッド
	気温	暖房度日
		冷房度日
トランスミッション工場	面積	
	生産数	トランスミッション数
	気温	換気
		外気温
		暖房度日
		冷房度日

出所: Assessing Improvement in the Energy Efficiency of U.S. Auto Assembly Plants²⁵及び
Development of Energy star® Energy Performance Indicators for powertrain manufacturers²⁶

²⁵ https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Duke_EE_WP_10-01.pdf

²⁶ <https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Development%20of%20Powertrain%20EPIs.pdf>

第4章 石油化学系基礎製品製造業の検討状況

4.1. ベンチマーク目標の達成状況と課題分析

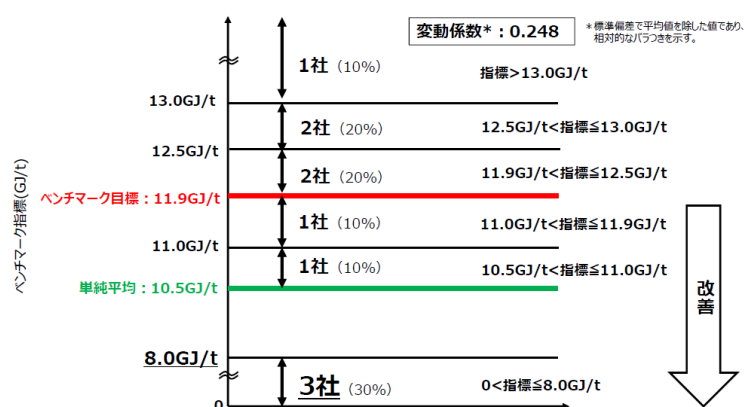
石油化学系基礎製品製造業においては、平成 22(2010)年度に制度の対象となって以降見直しが実施されておらず、ベンチマーク目標値が 11.9 GJ/t であるのに対して、平均値は 2016 年度以降、目標値より小さい状況が続いている。達成率は、2018 年度を除いて 50% 以上となっており、高い状況が続いている。変動係数は 2016 年度以降 0.17 を超え 2019 年度は 0.248 と、一定程度のばらつきが存在する状況が続いている。

表 4.1-1 石油化学系基礎製品製造業の達成状況

項目	単位	2015	2016	2017	2018	2019	単純平均
平均値	GJ/t	11.9	11.3	11.3	11.2	10.5	11.24
変動係数	—	0.092	0.186	0.177	0.196	0.248	0.1798
報告事業者数	—	9	9	10	9	10	9.4
達成事業者数	—	5	5	5	4	5	4.8
達成率	—	55.6%	55.6%	50.0%	44.4%	50.0%	52.8%

注：表中の年は実績年度を示す

石油化学系基礎製品製造業では、ベンチマーク指標が他事業差と比べて著しく低い者の存在により、単純平均値がベンチマーク目標値より小さい状況になっている。このため、各社のベンチマーク指標の差が省エネ取組によるものかを分析し、目標値及び指標の見直しを検討する必要があった。各社のエネルギー消費の状況を定量的に把握するために、調査票による実態調査を実施した。



出所) 経済産業省 2021 年度第 1 回工場等判断基準ワーキンググループ資料 4

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/kojo_handan/pdf/2021_001_0

4_00.pdf

図 4.1-1 ベンチマーク目標の達成状況

4.2. 調査票による実態調査の実施状況

業界団体へのヒアリングを踏まえ調査票様式を作成し、工場別に記入を求めた。今回の実態調査では、エネルギー使用の実態把握及び品種別生産量の違いによるエネルギー消費原単位への影響の分析により、生産品種による補正の検討も目的の一つとなっていた。このため、エネルギー使用量については、省エネ法の報告対象である電力使用量、化石燃料使用量、熱使用量及び副生エネルギー供給量に加え、省エネ法の報告対象外の再生可能エネルギー電力の使用量及び非化石燃料使用量の記入を求めた。また、生産品については品種別生産量を記載する様式とした。品種別エネルギー使用量を直接把握することは困難であるため、エネルギー使用量合計を調査して統計的な手法で品種別エネルギー消費原単位を推計した。

表 4.2-1 調査票による品種別生産量の調査

生産品	単位	生産量				
		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
エチレン	t					
プロピレン	t					
ブタン-ブテン中のブタジエン含有量	t					
分解ガソリン中のベンゼン含有量	t					
ベンチマーク指標対象生産品計	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4.2-2 調査票によるエネルギー使用量の調査

工場名	エネルギー使用量														副生エネルギー供給量					
	電力使用量(GJ)		化石燃料使用量(GJ)		熱使用量(GJ)		省エネ法対象合計(GJ)		再エネ電力使用量(GJ) ^{※4}		非化石燃料等使用量(GJ)		省エネ法対象外合計(GJ)		電力量(GJ)		その他エネルギー(GJ)		副生エネルギー供給量合計(GJ)	
	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度
工場名	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：調査票は2016～2020年度を調査したが、紙面制約のため中間3年間は省略した。

注：調査票には、エネルギー使用量の把握方法の回答欄を設け、下記A～Eの選択肢から該当項目を選択回答する方式とした。

- (A) 生値、(B) 生産調整分を補正、(C) 定修時の使用分含む、(D) プラント起動時の使用分含む
(E) 他プラントや、出荷設備と共有する用役分含む

配布と回収状況を表 4.2-3 に示す。有効回答率は8/10=80%となっている。対象事業者のうち、2者からナフサクラッカーを有していない旨回答があり、残り8者(11工場)からの回答を有効回答として分析を実施した。

表 4.2-3 配布と回収状況

対象事業者・配布数	調査票回答者	分析対象
10	8	8

4.3. ベンチマーク目標の見直しの検討状況

4.3.1. ベンチマーク目標値達成状況

2016 年度から 2020 年度において、8 者を対象にベンチマーク指標を集計した結果を表 4.3-1 に示す。R2 年度における達成事業者は 2 者、ベンチマーク指標平均値は 12.21 (GJ/t) となり、過去 5 年度分の平均値はすべて目標水準 (11.9 (GJ/t)) より大きな値となる。

表 4.3-1 ベンチマーク指標の推移

指標	単位	2016	2017	2018	2019	2020	単純平均
平均値	GJ/t	12.33	12.22	12.28	12.19	12.21	12.25
変動係数	-	0.077	0.073	0.076	0.072	0.069	0.074
報告事業者数	-	8	8	8	8	8	8
達成事業者数	-	3	2	2	2	2	2.2
達成率	-	37.5%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	27.5%

注：表中の年は実績年度を示す

4.3.2. 分析の結果

(1) ベンチマーク指標の値が著しく低い事業者について

昨年度までの報告において、ベンチマーク指標の値が 8.0 (GJ/t) 以下と他事業者と比べて著しく低い事業者が 3 者存在していたために平均値がベンチマーク目標より小さい値となっていた。今回の調査により、3 者のうち 2 者はナフサクラッカーを所有せず、石油化学系基礎製品製造業ベンチマーク指標の対象外であることが判明した。残り 1 者については、副生燃料の外販分をエネルギー使用量から控除するに当たっての計算方法を誤っていたため指標の値が著しく小さくなっていたことが判明した。結果として、ベンチマーク指標が著しく低い事業者はなくなった。

(2) 生産品種別の推計エネルギー消費原単位

生産品種割合がベンチマーク指標へ及ぼす影響を分析するため、品種別のエネルギー消費原単位を推計した。なお、品種別エネルギー使用量を直接把握することは困難であるため、工場別のデータにおけるエネルギー使用量と生産品種別生産量を使用し、回帰分析によりエネルギー消費原単位 (ベンチマーク指標) を推計した。

まず、生産品種別生産量について相関を確認し、多重共線性の問題がないか VIF (分散拡大要因) の値を確認したところ、VIF 値が 10 をはるかに超えており、生産品種別生産量は相関が高いことが判明した。比較的相関の低いベンゼンとそれ以外の品種に分けて VIF を確認したところ、VIF が 10 未満となり、説明変数として使用可能となった。なお、多重共線性を判断する VIF の正確な基準値は決まっていないが、ここでは一般的な基準として 10 を採用した。

表 4.3-2 説明変数(品種別生産量)の相関関係

	エチレン	プロピレン	ブタジエン	ベンゼン
エチレン	1	0.990	0.989	0.946
プロピレン	0.990	1	0.992	0.932
ブタジエン	0.989	0.992	1	0.949
ベンゼン	0.946	0.932	0.949	1
逆行列	65.592	-42.374	-14.190	-9.102
	-42.374	94.599	-63.484	12.161
	-14.190	-63.484	91.588	-14.307
	-9.102	12.161	-14.307	11.851

注：赤枠で示す VIF の値は 65.592, 94.599, 91.588, 11.851 といずれも 10 を超える

表 4.3-3 説明変数(品種別生産量)の相関関係

	エチレン+プロピレン+ ブタジエン	ベンゼン
エチレン+プロピレン+ブ タジエン	1	0.944
ベンゼン	0.944	1
逆行列	9.136	-8.621
	-8.621	9.136

注：赤枠で示す VIF の値は 9.136 と 10 を下回っている

回帰分析により、エネルギー消費原単位(ベンチマーク報告値)を品種別(エチレン+プロピレン+ブタジエン、ベンゼン)生産量(単位：トン)と統合エネルギー使用量(使用エネルギー量－供給副生エネルギー使用量)(単位：GJ)から推計した結果を表 4.3-4 に示す。

なお、年度別のデータ(サンプル数 11/年度)に基づくエネルギー消費原単位の回帰分析では、説明変数(生産量)と目的変数(エネルギー使用量)の関係性を示す P 値が 0.1 より大きく統計的に有効な結果が得られなかった。

表 4.3-4 品種別のエネルギー消費原単位推計結果

対象の期間	2016 年度～2020 年度
対象者	8 事業者 11 工場
サンプル数	55
決定係数	0.97
推計エネルギー消費原単位 (GJ/t)	エチレン+プロピレン+ブタジエン : 10.5 ベンゼン : 23.22
P-値	エチレン+プロピレン+ブタジエン : 0.00000 ベンゼン : 0.00232

(3) エネルギー使用の内訳

事業者/工場別のエネルギー使用の内訳(2020 年度)を図 4.3-1 に、全事業者の 5 年度平均使用エネルギーの種類別割合を図 4.3-2 に示す。化石燃料使用量が多くなっている理由は、熱分解炉の燃料使用に加え、ガスタービン複合発電設備を含む自家発火力発電設備による電力・熱供給分は化石燃料使用量として計上されているためと考えられる。

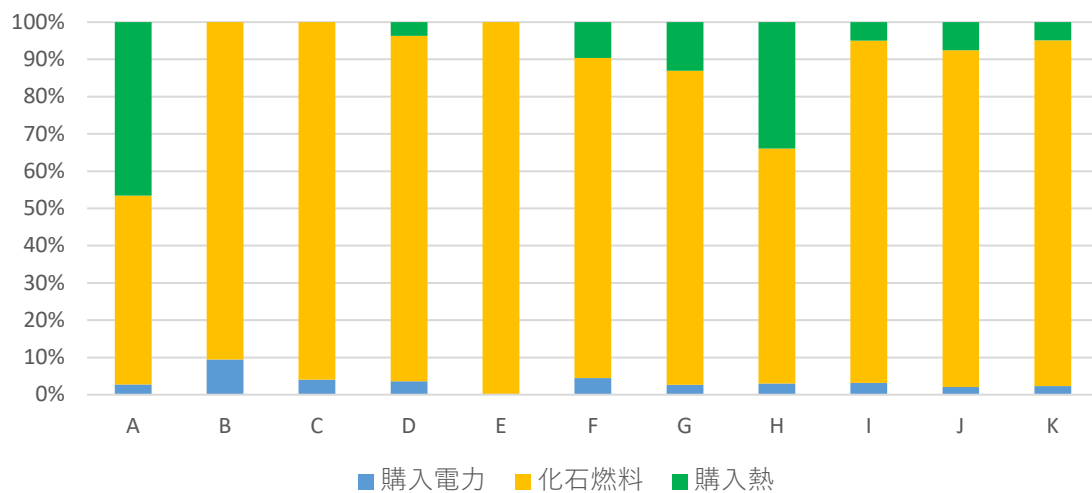


図 4.3-1 事業者/工場別 使用エネルギーの種類別割合(2020 年度)

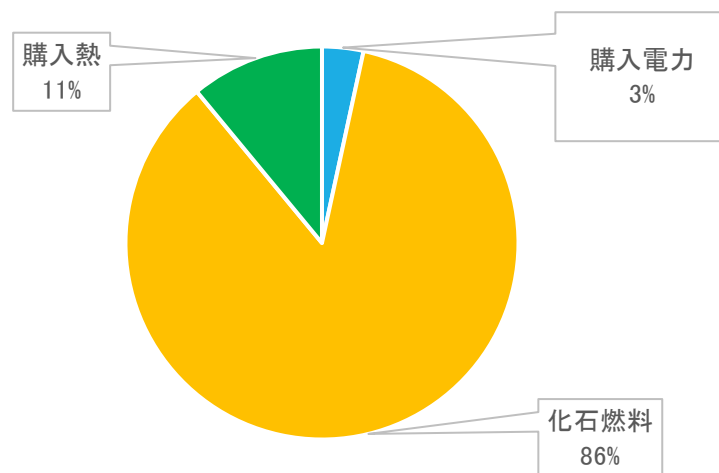


図 4.3-2 使用エネルギーの種類別割合 5 年度平均 (2016～2020 年度)

(4) 副生エネルギー供給について

副生エネルギー供給の内訳を図 4.3-3 に示す。2016 年以降、7 者における副生エネルギー控除率の変動幅は概ね 1%以内となっており、残り 1 者の変動幅は 2016 年度から 2018 年度は約 9%、2019 年度及び 2020 年度は約 14%となっている。図 4.3-4 に示すとおり、副生エネルギー控除率とベンチマーク指標には相関は認められない。

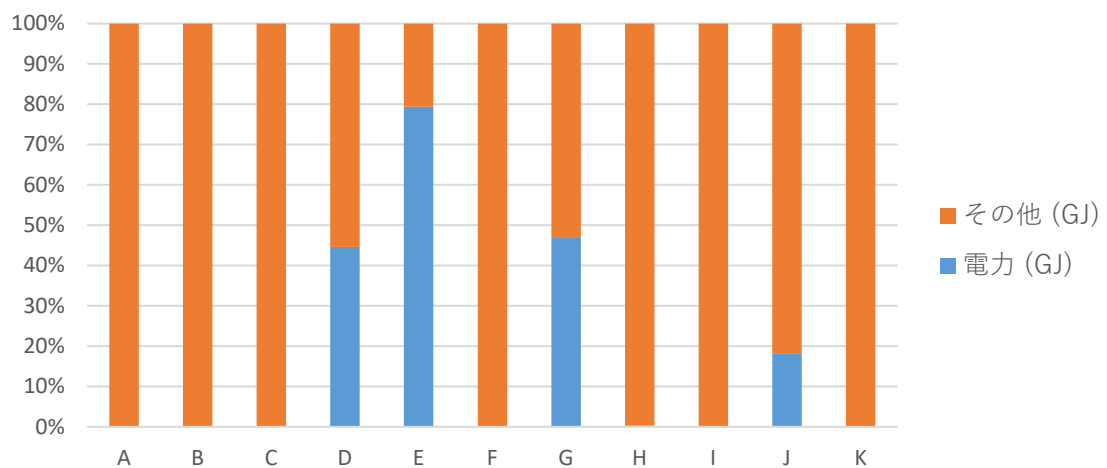


図 4.3-3 事業者/工場別 副生エネルギー供給の種類別割合 (2020 年度)

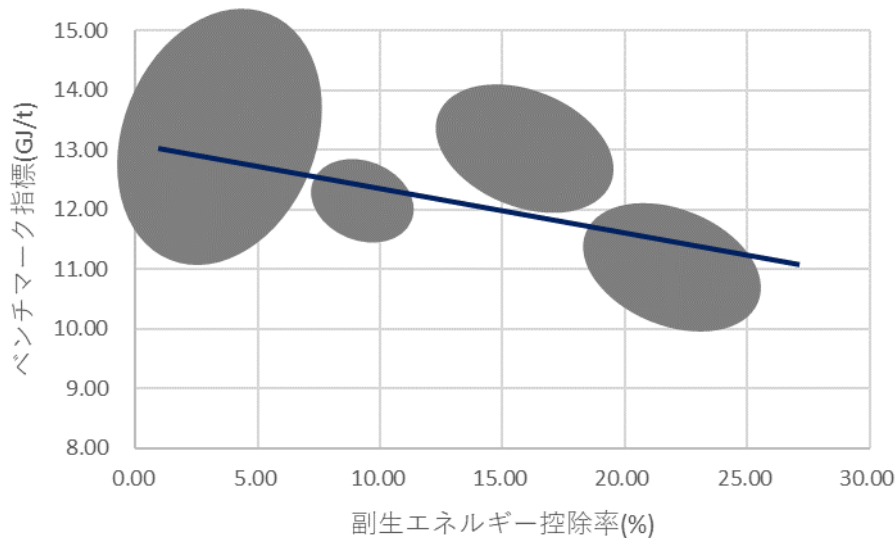


図 4.3-4 ベンチマーク指標と副生エネルギー控除率(2016～2020 年度)

(5) 生産量について

生産量の事業者/工場別の変動係数は 0.02 から 0.1 であり、いずれも変動幅は小さくなっている。年度により全事業者・工場の生産量が一律で増加あるいは減少する傾向は認められなかった。また、生産量とエネルギー消費原単位(ベンチマーク指標)に相関も観測されなかった。

(6) 生産品の品種別割合について

事業者別の生産品種割合の変動係数は、エチレンで 0 から 0.02、プロピレンで 0 から 0.02、ブタジエンで 0.01 から 0.03、ベンゼンで 0.03 から 0.05 となっており、いずれの事業者においても品種別生産割合の年度による変化はほとんど生じていない。各事業者の品種別生産割合の 5 年度平均値における変動係数は、エチレン：0.02、プロピレン：0.04、ブタジエン：0.03、ベンゼン：0.09 であり、ベンゼン以外は事業者間のばらつきは極めて小さい。ベンチマーク指標と品種別生産割合の相関係数は、エチレン：0.0032、プロピレン：-0.176、ブタジエン：-0.0698、ベンゼン：0.2018 となっており、いずれの品種についても、生産割合とベンチマーク指標に相関は観測されなかった。

(2) の品種別原単位の推計により、エチレン+プロピレン+ブタジエン及びベンゼンの推計エネルギー消費原単位はそれぞれ 10.5 (GJ/t)、23.22 (GJ/t) と算出されている。試算の結果からはベンゼンの生産割合の違いにより、最大で事業者間に 0.45 (GJ/t) の違いが生じることが示唆され、ベンゼンの生産割合が高い事業者ほどベンチマーク指標が大きくなることが予測されるが、図 4.3-5 に示すとおり、ベンゼンの生産割合が高い事業者のベンチマーク指標が必ずしも大きくなる傾向は認められない。また、事業者のベンチマーク指標 5 年度平均値とベンチマーク指標実績値の平均値との相関係数は 0.20 となっており相

関は認められないことから、品種別生産割合によるベンチマーク指標の補正は不要である。

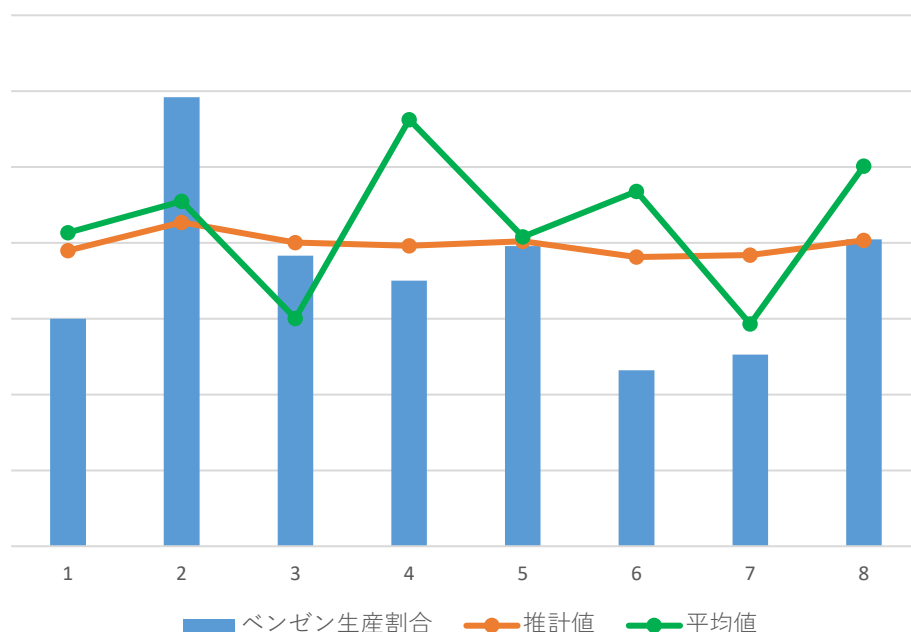


図 4.3-5 事業者別 ベンゼン生産割合とベンチマーク指標

4.3.3. 見直しの方向性

調査票回答データの分析結果として、表 4.3-1 に示すとおり 2016 年度に目標を達成している事業者は 8 者中 3 者、2017 年度以降は 8 者中 2 者となり、目標水準を達成している事業者の割合は近年 4 年度では 25%となっている。加えて、平均値は 2016 年度以降いずれの年度においてもベンチマーク指標の目標水準（11.9GJ/t）より大きく、目標水準に達していないことから、今回の検討では目標水準の見直しは不要となった。

また、ベンチマーク指標へ影響を及ぼす要因については、調査票のデータを解析したところ補正を要する要因は抽出されなかった。したがって、ベンチマーク指標の算出方法についても変更は不要と結論づけた。

4.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証

目標値の国際的な観点からの検証として、EU-ETS のベンチマーク水準との比較を行った。EU-ETS とはバウンダリーの考え方や対象の考え方が異なるため、単純な比較を行うことができないが、一つの目安と捉えことは可能であると考え。主な結果を以下に示す。

4.4.1. EU-ETS のベンチマーク水準

EU-ETS のベンチマーク制度におけるクラッカー関連の対象製品とそれぞれの水準を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 EU-ETS のベンチマーク制度におけるクラッカー関連の対象製品

製品	Steam Cracking (high value chemicals)
ベンチマーク値	0.681 tCO ₂ /トン (2021 年から 2025 年) phase 4 0.702 tCO ₂ /トン (2013 年から 2020 年) phase 3
製品単位	トン
対象製品	アセチレン、エチレン、プロピレン、ブタジエン、ベンゼン、水素から構成される HVC (high value chemicals) の混合物 ・水素はメタンから分離されたケミカルグレード製品を対象とする
対象事業者の条件	エチレンの全生産品に占める重量%が 30%を超え、かつ HVC、燃料ガス、ブテン、液体炭化水素の全生産品に占める重量%が 50%を超える
対象プロセス	・アセチレン、エチレン、プロピレン、ブタンーブテン留分、分解ガソリン及びその他の副産品を製造するプロセス ・クインチ (C5 留分) 及び Primary fractionator (C8+留分) ・フレアシステムへのガス供給プロセス
対象排出	・生産に関連する消費電力の排出量を対象とする ・測定可能な熱 (蒸気、温水など) の外販は対象外

出典：

Guidance Document no.9 on the harmonized free allocation methodology for the EU-ETS post 2020
Sector-specific guidance

https://ec.europa.eu/clima/system/files/2019-07/p4_gd9_sector_specific_guidance_en.pdf

Update of benchmark values for the years 2021-2025 of phase 4 of the EU ETS

https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-10/policy_ets_allowances_bm_curve_factsheets_en.pdf

4.4.2. CO₂ベースへの換算方法と比較結果

日本の石油化学系基礎製品製造業のベンチマーク指標はエネルギー消費原単位 (GJ/t) であるため、EU-ETS の tCO₂原単位に換算する。熱量から tCO₂への換算係数は、2019 年度の総合エネルギー統計「石油化学製品動力燃料」のエネルギー消費量及び CO₂排出量のデータを使用した。その結果、日本の石油化学系基礎製品製造業におけるベンチマーク目標値を CO₂ベース換算値は 0.746 (tCO₂/t) となり、EU-ETS の phase 4 における規定値 0.681 (tCO₂/t)

とは遜色ない水準と考えられる。ただし、日本のベンチマークと EU-ETS の製品ベンチマークは、生産量やエネルギーのバウンダリーに相違があるため、参考比較である。

表 4.4-2 CO₂ベースのベンチマーク値への換算方法

指標	単位	値
エネルギー消費量（注）	GJ	433714591
CO ₂ 排出量（注）	10 ³ tC	7406.6
換算係数	tCO ₂ /GJ	0.0627
ベンチマーク値(11.9GJ/t) 換算	tCO ₂ /t	0.746

注：「総合エネルギー統計」

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2

第5章 ソーダ工業の検討状況

5.1. ベンチマーク目標の達成状況と課題分析

ソーダ工業においては、2010 年度にベンチマーク制度の対象となって以降、一度見直し
が実施されており、2015 年度までの目標値は 3.45GJ/t、2016 年度以降の目標値は 3.22GJ/t
となっている。ベンチマーク目標を達成した事業者の割合は、目標水準の見直し直後の 2016
年度実績値は 33.3%であったが、2019 年度には 22 者中 12 者が達成しておりその割合は
54.5%に達している。

表 5.1-1 ソーダ工業の達成状況

指標	単位	2015	2016	2017	2018	2019	単純平均
平均値	GJ/t	3.29	3.80	3.70	3.69	3.60	3.62
変動係数	－	0.161	0.155	0.149	0.153	0.158	0.1552
報告事業者数	－	21	21	22	22	22	21.6
達成事業者数	－	12	7	6	8	12	9
達成率	－	57.1%	33.3%	27.3%	36.4%	54.5%	41.7%

注：図中の年は実績年度を示す

出所）経済産業省 2021 年度第 1 回工場等判断基準ワーキンググループ資料 4

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/kojo_handan/pdf/2021_001_04_00.pdf

ベンチマーク目標について、業種内で過半の事業者が達成した場合に新たな目標値を検討すべきであるとされており、ソーダ工業では 2019 年度実績値で 54.5%の事業者が目標を達成している状況であることから、目標値見直しの検討が必要となった。なお、1 事業者の指標の値が 2016 年度以降異常に大きくなっており、表 5.1-1 の 2016 年度以降の変動係数の算出においては、当該事業者の指標値は外れ値として除外されている。指標の見直しの検討に当たっては、ベンチマーク指標が各事業者の省エネ取組を適切に反映したものとなっているかを確認する必要がある、事業者毎の生産量及びエネルギー使用量について、定量的に把握するため調査票による実態調査を実施した。

5.2. 調査票による実態調査の実施状況

今回の分析は、濃縮工程の有無について各者の違いを調査し、補正の可能性を検討することを目的の1つとしている。このため、工程別のエネルギー消費原単位を特定できるように、電解工程と濃縮工程それぞれの生産量及びエネルギー使用量を把握可能な調査票を設計した。また、今回の実態調査では、エネルギー使用状況や指標のばらつき要因の分析を行うために、定期修理実施の状況、再生可能エネルギーの導入状況等、ベンチマーク指標に影響を及ぼすと推測される項目についても併せてアンケート調査を実施した。

表 5.2-1 調査票による品種別生産量の調査

工程	生産品	濃度(%)	単位	生産量				
				2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
電解工程	電解槽払出力セイソーダ重量		t					
	生産品計	32	t					
濃縮工程	液体カセイソーダ重量		t					
	生産品計	48	t					

表 5.2-2 調査票によるエネルギー使用量の調査

	エネルギー使用量													
	電力使用量(GJ)		化石燃料使用量(GJ)		熱使用量(GJ)		省エネ法対象合計(GJ)		再エネ電力使用量(GJ) ^{※4}		非化石燃料等使用量(GJ)		省エネ法対象外合計(GJ)	
	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度
電解工程														
濃縮工程														
全工程合計														

	副生エネルギー供給量					
	電力量(GJ)		その他エネルギー(GJ)		副生エネルギー供給量合計(GJ)	
	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度	2016年度	2020年度
電解工程						
濃縮工程						
全工程合計						

注：調査票は 2016～2020 年度の 5 年度分を年度別に調査したが、紙面制約のため中間 3 年間は省略した。

配布と回収状況を表 5.2-3 に示す。有効回答率は $21/22=95\%$ となっている。

対象事業者のうち、1 者についてはすでにソーダ工業事業から撤退しているためデータ提出不可の旨回答があり、残り 21 者(27 工場)からの回答を有効回答としてデータ分析を行った。

表 5.2-3 配布と回収状況

対象事業者・配布数	有効回答者	分析対象
22	21	21

5.3. ベンチマーク目標の見直しの検討状況

5.3.1. ベンチマーク目標達成状況

2016 年度から 2020 年度において、調査票回答のあった 21 者のベンチマーク指標を集計した結果を表 5.3-1 に示す。

2020 年度における達成事業者は 12 者となり、2019 年度以降は半数を超える事業者が目標値を達成している。一部事業者のベンチマーク指標を訂正した結果、過去 5 年度分の平均値は 3.6 (GJ/t) (表 5.1-1) から 3.27 (GJ/t) へ低下する。なお、変動係数が表 5.1-1 の集計値より大きくなっている原因は、下表では外れ値として除外していた 1 者を含めて変動係数を算出しているためである。

表 5.3-1 ベンチマーク目標達成状況

指標	単位	2016	2017	2018	2019	2020	単純平均
平均値	GJ/t	3.30	3.30	3.28	3.22	3.23	3.27
変動係数	－	0.177	0.191	0.198	0.186	0.200	0.190
報告事業者数	－	21	21	21	21	21	21
達成事業者数	－	7	8	9	12	12	9.6
達成率	－	33.3%	38.1%	42.9%	57.1%	57.1%	45.7%

注：図中の年は実績年度を示す

5.3.2. 分析結果

調査票回答データを用いて、エネルギー使用量、生産量及びベンチマーク指標との関係について分析し、ベンチマーク指標に影響を与える可能性がある項目についてデータを分析した。分析の結果、いずれの項目についてもベンチマーク指標の算出において影響しない又は事業者間の公平性を確保できることが確認できたため、ベンチマーク指標の算出における補正は必要ないとの結論に達した。

以下に(1)工程別のエネルギー使用、(2) ベンチマーク指標の値が著しく高い事業者、(3) バウンダリー、について分析した結果をまとめる。

(1) 工程別のエネルギー使用について

ベンチマーク指標は電解工程と濃縮工程のエネルギー消費原単位を加算するため、濃縮工程を実施している事業者の指標が高くなり、濃縮工程を持たない事業者との比較で不利になることが懸念されたが、今回の調査で2016年度から2018年度は21者中20者で、2019年度以降は全者で濃縮工程が実施されていることが判明し、濃縮工程の有無によりベンチマーク指標の算出において補正等の調整措置は必要ないことが確認できた。

各者の工程別のエネルギー使用の割合を図 5.3-1 に、工程別エネルギー消費原単位(加重平均)を表 5.3-2 に示す。なお、製造に使用したすべてのエネルギーを対象に評価を行うため、工程別エネルギー消費原単位の算出には省エネ法対象外の再エネ電力使用量及び非化石燃料使用量を含めている。

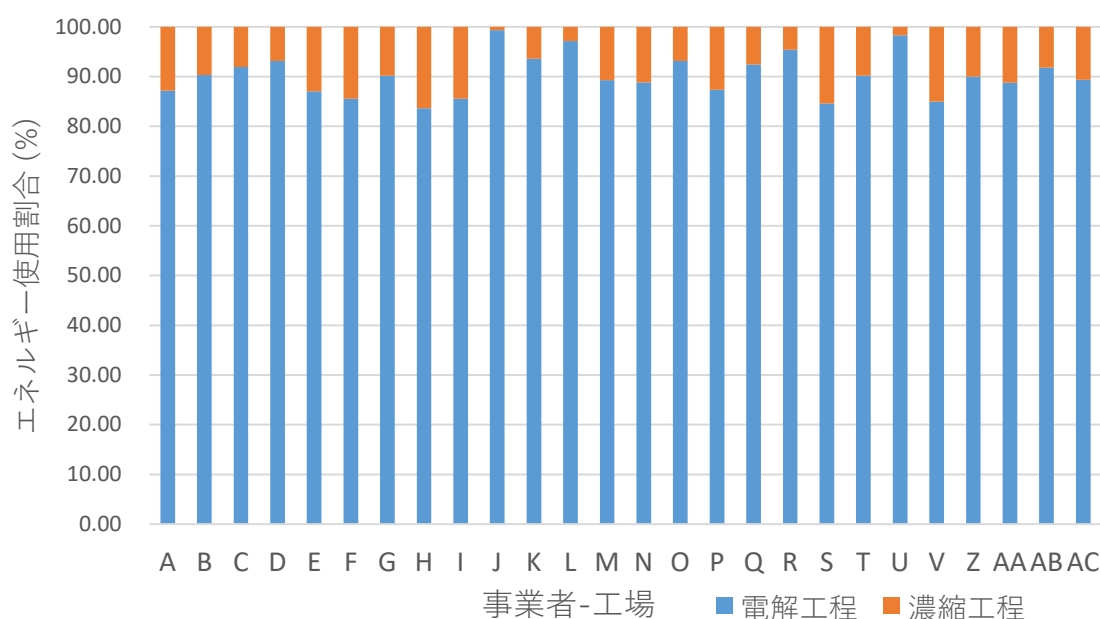


図 5.3-1 事業者・工場別エネルギー使用割合(5 年度平均値)

表 5.3-2 工程別エネルギー消費原単位(加重平均)

	2016	2017	2018	2019	2020	5 年度平均
電解工程	2.702	2.709	2.693	2.690	2.704	2.700
濃縮工程	0.700	0.696	0.690	0.697	0.685	0.694

電解槽払い出し苛性ソーダ(32%製品)のうち、濃縮工程へ投入する割合は、48%苛性ソーダの必要量に応じて決まるため、出荷先等用途の違いにより事業者間でばらつきがある。基本

的に、電解工程の生産量及び濃縮工程の生産量は市場動向に応じて決定されている。そこで、濃縮工程の生産量及び電解工程の生産量における事業者間の違いに応じて、補正等調整措置の必要性を検討するために、工程別エネルギー消費原単位への影響について分析を行った。

分析結果を下記にまとめる。

- ① 濃縮工程の全エネルギー使用量に占める割合(%)と電解工程生産量に占める濃縮工程生産量の割合(%)の相関係数は2020年度で0.693となっており、相関が認められる。
- ② 電解工程生産量に占める濃縮工程生産量の割合(%)と濃縮工程のエネルギー消費原単位の相関関係は2020年度で-0.292となり、相関は高くない。なお、相関係数はエネルギー消費原単位が外れ値となる1者を除いて算出している。
- ③ 濃縮工程の生産量とエネルギー消費原単位の相関係数は2020年度で-0.0991となり相関は認められない。

上記①、②、③の結果から、濃縮工程生産割合及び生産量ともにエネルギー消費原単位との関連は低く、濃縮工程生産割合あるいは濃縮工程生産量によるエネルギー消費原単位(ベンチマーク指標)の補正は必要ないと考えられる。

また、電解工程の生産量とエネルギー消費原単位の相関係数は2020年度で-0.0996となり、エネルギー消費原単位との関連は低く、電解工程生産量によるエネルギー消費原単位(ベンチマーク指標)の補正は必要ないと考えられる。

(2)ベンチマーク指標の値が著しく高い事業者について

定期報告において、著しく高い事業者が1者存在していた。

調査の結果、下記の要因を特定した。

要因 1)電解工程では事業所全体の電力使用量を元にベンチマーク指標を算出しているが、実際に苛性ソーダの製造において利用している電力は全電力使用量の一部である。

要因 2)減産により、電解槽の高効率運転が実施できていない。

上記の要因 1)について5年度分の調査票回答データを修正した結果、当該事業者のベンチマーク指標の値は改善し、他者との比較で統計上外れ値に該当しないレベルとなった。

(3)バウンダリーについて

バウンダリー外として4プロセスが報告されており、このうち電解用循環塩水の加熱プロセスは、冬季あるいは厳寒地で必要とされる一方で塩水温度が高いほど電力使用量が下がりコストダウンにつながるためバウンダリー内であると判断した。他の3プロセスは、苛性ソーダ自家消費の際使用する回転機器類の一般電力、塩素圧縮のナッシュブロワー、合成

塩酸設備であり、それぞれ1者より報告された。これら3プロセスについては苛性ソーダの製造には直接係わらないためバウンダリー外と判断した。

5.3.3. 見直しの方向性

調査票回答データの分析結果から、2019年度以降、目標水準を達成している事業者が半数を超えており(表5.3-1)、現状の目標水準(3.22(GJ/t))は「事業者が目指すべき高い水準」とみなせる状況ではないことから目標水準の見直しを実施した。また、ベンチマーク指標の算出方法については、ベンチマーク指標へ影響を及ぼす可能性がある項目について調査票のデータを解析したところ補正を要する要因は抽出されなかったことから、変更する必要はないと結論づけた。

5.3.4. 新たな目標値の検討

新たなベンチマーク目標値の検討に当たって、2021年度以降制度対象となっている20者についてベンチマーク目標の達成状況を分析した。その結果、新たな目標水準としては、15%の事業者(3者)が達成している水準である3.00(GJ/t)を目標値として設定することとした。

5.4. 国際的な観点からのベンチマーク目標の検証

海外諸国のエネルギー消費効率関係制度のうち、米国のEnergy Star、EUのEU-ETS、中国の国家推奨基準及びカナダのOutput-based pricing Systemにおいては、2022年2月時点でソーダ工業は対象産業に含まれていない。

英国の気候変動協定(CCA)は、環境庁と業界団体間の自主協定であり、化学業界全体として、化学工業会と政府の間で基準年(2012年)との比較でエネルギー使用量の削減率が合意されている。2019年1月から2020年12月における削減目標値は11.317%である。

インドの省エネルギー達成認証取引制度(PAT)にはソーダ工業が対象に含まれる。

5.4.1. インドの省エネルギー達成認証取引制度(PAT)のベンチマーク水準

インドPATのベンチマーク制度におけるソーダ工業の対象製品と目標水準を表5.4-1に示す。

表 5.4-1 インド PAT におけるソーダ工業ベンチマーク

製品	Chrol Alkil
ベンチマーク値 の一例	ベンチマークの目標水準は、事業者個別の実績値に基づき事業者毎に 設定される。 Lords Chloro Alkali Limited の場合： 基準エネルギー消費原単位：0.3016 TOE/t 基準生産量：43,047 トン 目標エネルギー消費原単位 0.2836 TOE/t 目標値の対象期間：2021 年から 2022 年 phase V
製品単位	トン
対象製品	苛性ソーダ 液化塩素(苛性ソーダ換算比率：0.0615) 圧縮水素(苛性ソーダ換算比率：13.889) 固形苛性ソーダ(苛性ソーダ換算比率：0.219)
対象プロセス	・膜製造法及び水銀法 事業者個別で目標水準が決定されており、対象プロセスについて詳細 には規定されていない。

出所)

PAT Rules Ammendment 2016

<https://escerts.gov.in/PortalUser/ViewFile?noteId=eae2e2b2-e864-ea11-b84f-001dd8b71f95>

Notification of PAT Cycle-V

<https://escerts.gov.in/PortalUser/ViewFile?noteId=5adfd363-65f5-ea11-b84f-001dd8b71f95>

5.4.2. TOE ベースへの換算方法と比較結果

日本のソーダ工業のベンチマーク指標はエネルギー消費原単位(GJ/t)であるため、TOE ベースへ換算した。その結果、日本のソーダ工業ベンチマーク目標値(3.22(GJ/t))は 0.225 (TOE/t)となる。インドの目標水準は事業者別に決定され、また、日本のベンチマークとインド PAT の製品ベンチマークは、生産量やエネルギーのバウンダリーに相違があるため、参考比較である。