

発表No.B1-12

水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発／ 水素製造・利活用ポテンシャル調査

『横浜港におけるカーボンニュートラルポート形成に 向けた水素利活用システム検討調査』

発表者名 横浜市港湾局政策調整課 中村 仁
団体名 横浜川崎国際港湾株式会社
横浜市
横浜港埠頭株式会社
発表日 2023年7月13日



連絡先：横浜市港湾局政策調整課 中村 (hi19-nakamura@city.yokohama.lg.jp)

1. 調査の背景・目的

○2020年12月25日 グリーン成長戦略発表

「国際港湾において、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルポート(CNP)を形成する」

○2021年2月～3月 横浜港・川崎港カーボンニュートラルポート検討会開催

「我が国港湾を先導する6地域・7港湾のひとつとして、横浜港にてCNPの検討を開始」



○2021年4月 本調査に申請

横浜港がCNPを目指すにあたり、港湾事業を越えた調査を実施する必要があると認識し、本調査に申請。
公平な視点を担保するため、港湾管理者(地方自治体)や港湾運営会社等の公共的組織のみで申請。



○2021年7月 採択決定(2021.6 採択審査コメントより)

国土交通省が検討しているカーボンニュートラルポート(CNP)検討会成果をベースとした調査。

水素社会構築のベースとなるCNPモデル形成となり、全国の港湾地域に向けた情報発信となることが期待される。

【注】本調査は水素の利活用を最大化する観点から検討したものであり、横浜市及び横浜港の今後の行政計画に直接的に反映されるものではありません。

1. 調査の背景・目的

横浜港は我が国を代表する総合港湾であり、埠頭における物流機能に加えて、京浜臨海部・根岸地区等における生産機能、都心臨海部等における観光文化機能を持つ

工業エリア

客船ターミナル・再開発商業エリア

コンテナ物流エリア

自動車輸出エリア

⇒横浜港では様々な水素調達・利活用のポテンシャル有りと想定

2. 調査の内容・成果

■調査項目の全体像

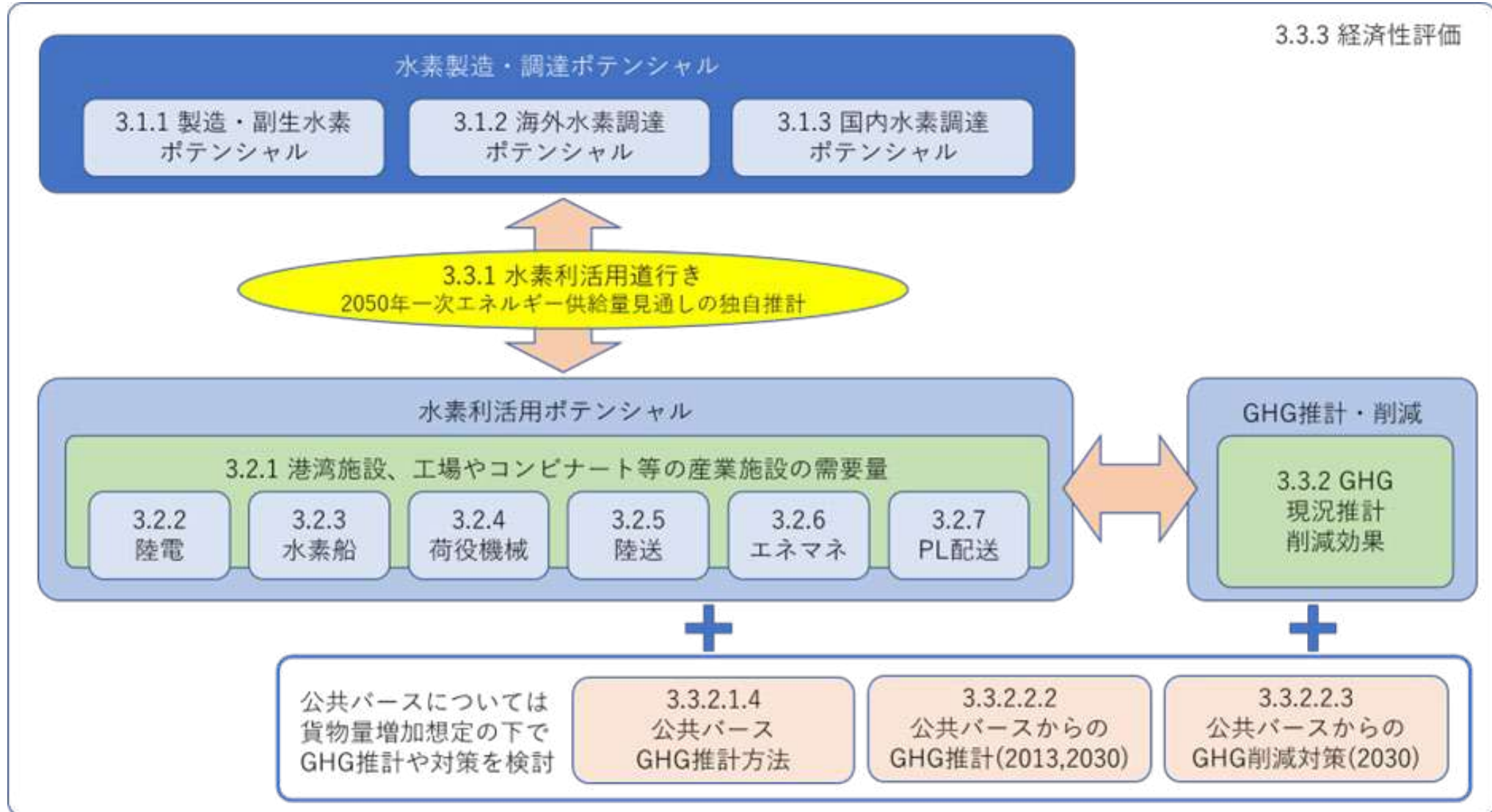


図3.3.5-1 本調査における調査項目の全体像(報告書P.411)

2. 調査の内容・成果

■ 調査項目の全体像(計数整理)

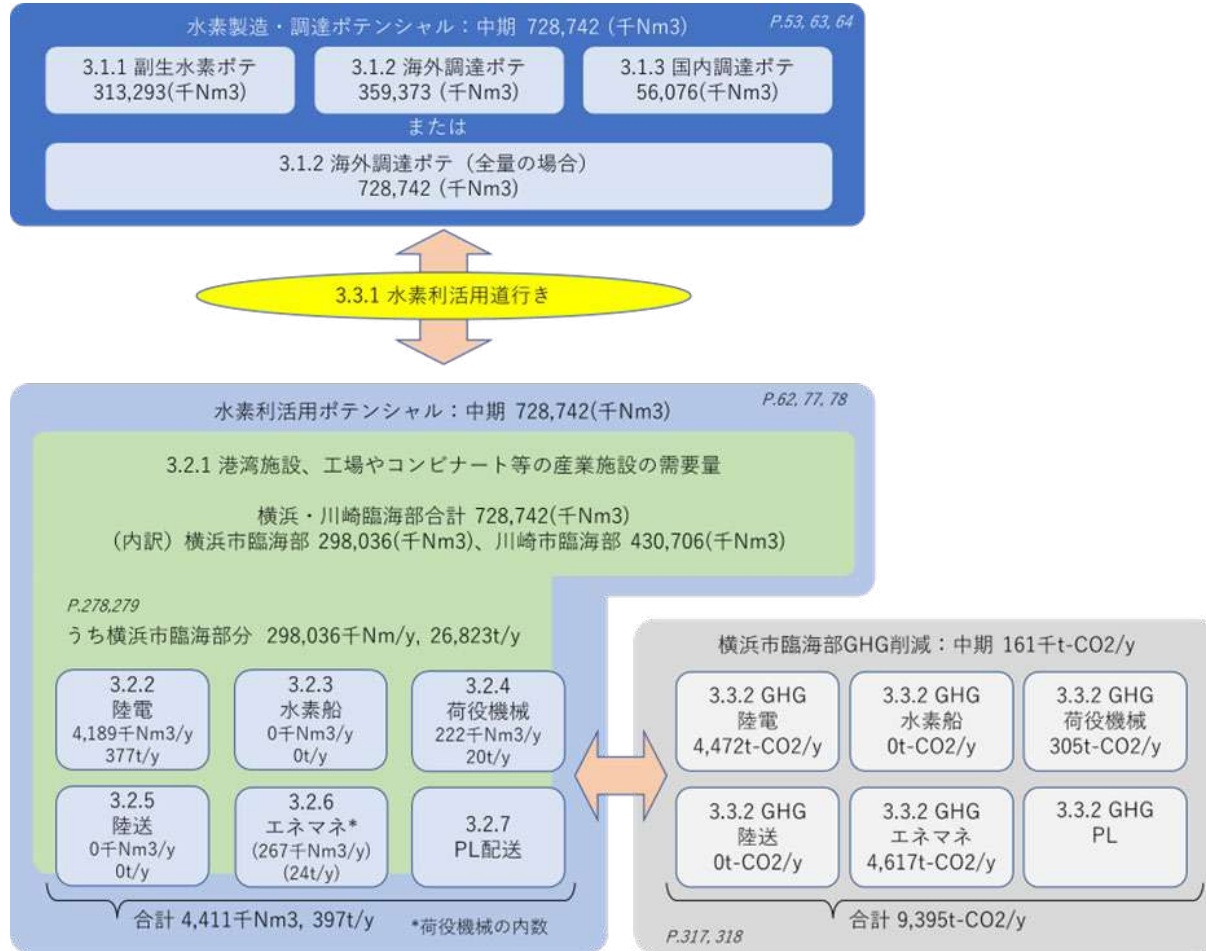


図3.3.5-2 中期(2030年頃)の水素調達・利活用及びGHG削減に関する計数整理(報告書P.412)

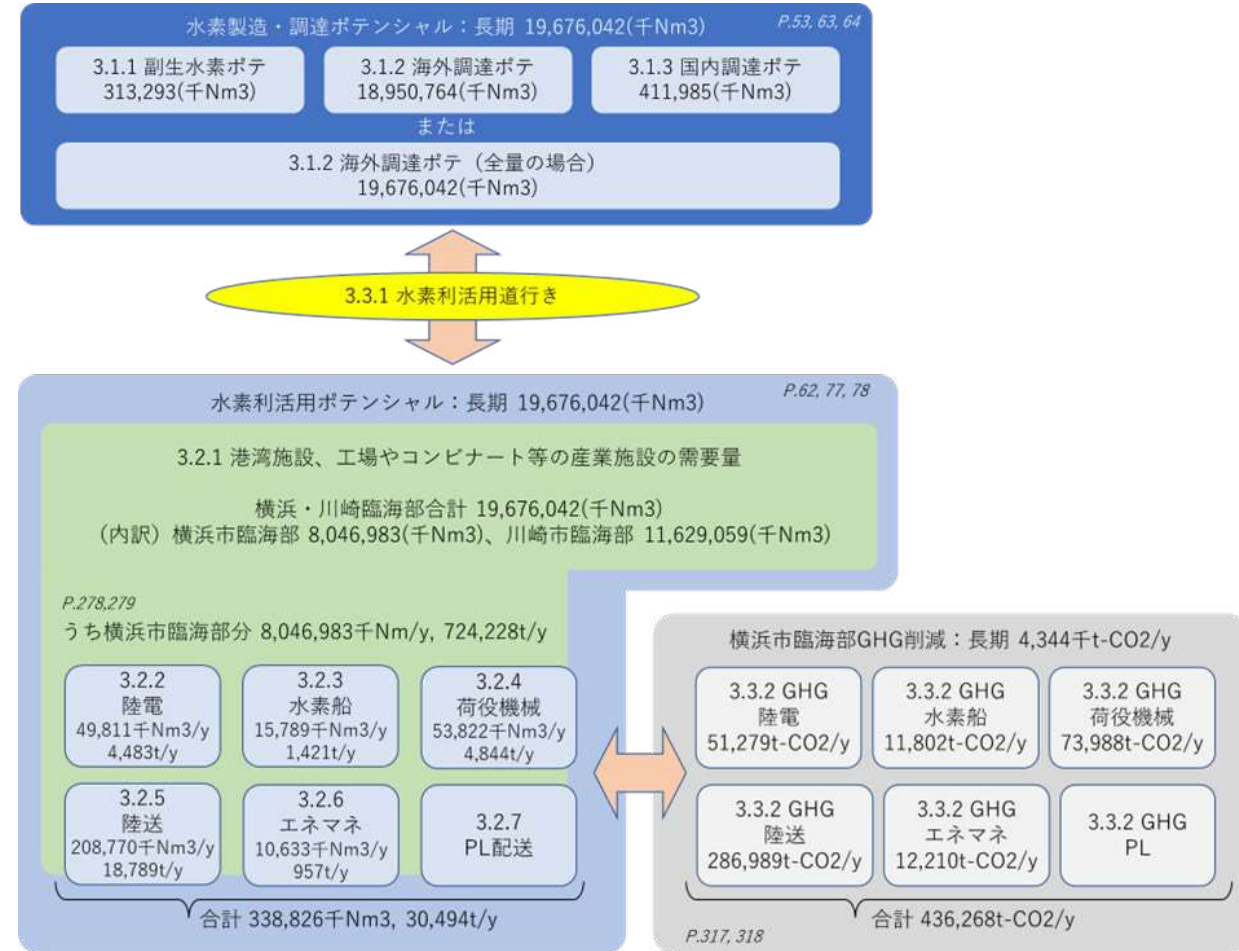


図3.3.5-3 長期(2050年頃)の水素調達・利活用及びGHG削減に関する計数整理(報告書P.415)

2. 調査の内容・成果

■ 調査を通じた所感

- ・大手エネルギー企業等が提案者に含まれず、港湾関係者だけで取り組んだため、特に調達部分の調査に苦慮した。
- ・横浜市臨海部という規模での計数整理に工夫を要した。
- ・港湾関係者ならではの視点からの事例紹介や検討内容は全国の港湾関係者の参考になると考える。
- ・自治体が調査主体であることから、3EIDや産業連関分析を用いた経済性評価を試みることができた。

■ 本調査の全調査項目

1 水素製造・調達ポテンシャル調査	
3.1.1	地域内における製造・副生水素の供給動向及びポテンシャル調査
3.1.1.1	副生水素供給ポテンシャル調査
3.1.1.2	京浜地区・京葉地区・茨城地区のポテンシャル比較
3.1.2	海外からの水素調達動向及びポテンシャル調査
3.1.2.1	横浜市臨海部に立地するエネルギー事業者の水素調達動向
3.1.2.2	海外から本邦向けの水素調達プロジェクトの状況
3.1.3	国内からの水素調達動向及びポテンシャル調査
3.1.3.1	洋上風力発電の政府目標～第6次エネルギー基本計画より
3.1.3.2	石狩湾新港洋上風力の余剰電力を活用した水素サプライチェーンに関する調査
3.1.3.3	洋上風力発電由来電力の調達・運搬方法
3.1.4	水素製造・調達ポテンシャルのまとめ

2 水素利活用ポテンシャル調査	
3.2.1	港湾施設、工場やコンビナート等の産業施設の需要量調査
3.2.1.1	ENEOS社等との共同アンケート調査
3.2.1.2	横浜市臨海部および川崎市臨海部のエネルギー需要量調査
3.2.1.3	高分解能光学衛星画像を用いたエネルギー需要調査
3.2.2	停泊時船舶への電力供給に関する調査
3.2.2.1	海外港湾、国際海運及び我が国の動向
3.2.2.2	陸電の世界的動向
3.2.2.3	陸電の国際規格
3.2.2.4	陸電の導入事例
3.2.2.5	陸電のケースステディ
3.2.2.6	国内におけるその他船舶への陸電事例
3.2.2.7	陸電導入の課題
3.2.2.8	陸電のエネルギーマネジメント
3.2.2.9	設計探査ソフトを使用した考察
3.2.2.10	陸電供給における水素利活用の可能性検討
3.2.3	水素燃料船舶への燃料供給に関する調査
3.2.3.1	次世代船舶燃料の比較
3.2.3.2	液化水素燃料船の検討事例を通じた港湾管理者側の整理事項
3.2.3.3	圧縮水素ガス燃料船の普及に向けた港湾管理者側の整理事項
3.2.3.4	船舶燃料供給事業の課題
3.2.3.5	船舶燃料としての水素利活用ポテンシャル

2. 調査の内容・成果

■本調査の全調査項目(前頁からの続き)

2 水素利活用ポテンシャル調査	
3.2.4	荷役機械等の水素化に関する調査
3.2.4.1	荷役作業の概要
3.2.4.2	荷役機械のこれまでの電動化の状況
3.2.4.3	国内外における荷役機械の水素化の状況と課題
3.2.4.4	RTGの水素化に向けた検討
3.2.4.5	荷役機械の水素利活用ポテンシャル
3.2.5	海上コンテナの陸上輸送の水素化に関する調査
3.2.5.1	横浜港における海上コンテナの陸上輸送の概要
3.2.5.2	国内外におけるトラック・鉄道の水素化の状況と課題
3.2.5.3	トラック・鉄道の水素化等の状況と課題
3.2.5.4	関連業界の水素化等の動向
3.2.5.5	トラック・鉄道の水素利活用ポテンシャル
3.2.6	再エネ・燃料電池等を活用した埠頭におけるエネルギーマネジメント
3.2.6.1	仮想のコンテナターミナルにおける再エネと水素等の活用検討
3.2.6.2	横浜港内の公共エリアにおける再エネ及び水素関連設備の設置事例の紹介
3.2.6.3	港湾法の改正内容の紹介
3.2.7	パイプライン等も活用した水素の貯蔵・配送手法の効率化に関する調査
3.2.7.1	水素の貯蔵に関する情報整理
3.2.7.2	横浜港周辺における水素サプライチェーンの検討状況
3.2.7.3	水素パイプラインの敷設の可能性

3 水素利活用トータルシステムの検討	
3.3.1	水素利活用の道行きの検討
3.3.1.1	参考にしたシナリオ開発機関
3.3.1.2	シナリオ別 2050年の日本のエネルギー需給構造
3.3.1.3	2050年の一次エネルギー供給量見通し推計(水素利活用の道行き)
3.3.1.4	水素利活用の道行きの中での横浜市臨海部の水素利活用ポテンシャル
3.3.2	温室効果ガス排出量の現況推計と削減効果の検討
3.3.2.1	温室効果ガス排出量の現況推計と推計方法
3.3.2.2	温室効果ガス排出量の削減効果の検討
3.3.3	経済性の評価指標の検討
3.3.3.1	横浜市臨海部の事業活動の変化に伴う市場価値と環境価値の評価比較
3.3.3.2	パリティコスト分析
3.3.4	連絡協議会の開催及び個別意見聴取の実施
3.3.4.1	連絡協議会の開催
3.3.4.2	個別意見聴取の実施
3.3.5	本調査の全体まとめ(一部再掲)

2. 調査の内容・成果

3.3.1 水素利活用の道行きの検討

国は第6次エネルギー基本計画(2021年10月)において、2030年の一次エネルギー供給量見通しを示しているが、2050年の一次エネルギー供給量見通しを示していない。

そこで、複数の研究機関やコンサルティング企業が公表しているシナリオを活用して、2050年の一次エネルギー供給量見通し(以下、「2050年一次エネルギー供給量見通し推計」または「水素利活用の道行き」という。)を検討した。

⇒これより、2050年の水素転換割合を27%と設定して、全体バランスを取ることにした。

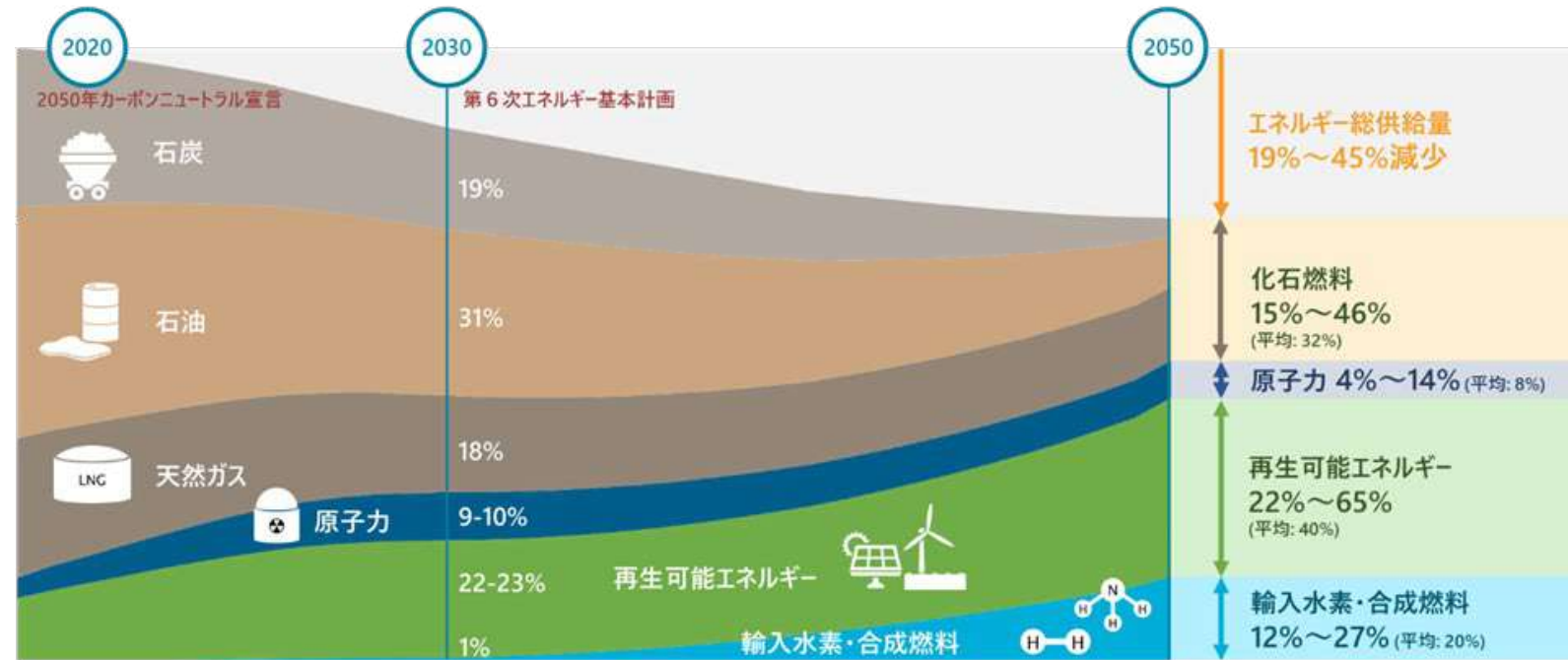
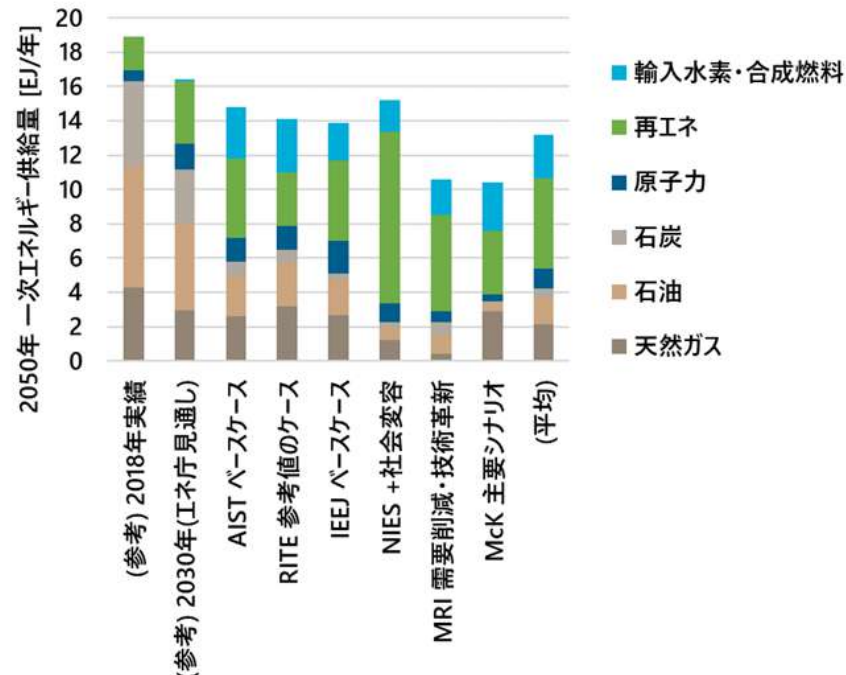


図3.3.1-1 一次エネルギー供給量(報告書P.276) 図3.3.1-3 一次エネルギー供給量見通し推計(水素利活用の道行き)(報告書P.277)

(横浜市港湾局及び東北大学大学院工学研究科技術社会システム専攻小野寺弘晃氏が作成)

2. 調査の内容・成果

3.1.1 地域内における製造・副生水素の供給動向及びポテンシャル調査

製造・副生水素の供給ポテンシャルは、NEDO委託事業『**水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／副生水素供給ポテンシャルに関する調査**』（2020年9月、みずほ情報総研株式会社。以下「既往調査」という。）にて詳細な調査が実施されている。そこで、既往調査を**時点更新する形でアンケート調査を実施した。**

3.1.1.1 副生水素供給ポテンシャル調査

既往調査の数量は同業種は同じ数式を用いて算出しているが、本調査は個社に直接回答を求めたため、非公表情報が多くなった。また、**全体的に減少する発生源が多い結果**となった。

3.1.1.2 京浜地区・京葉地区・茨城地区のポテンシャル比較

次世代エネルギーの大規模拠点の議論が行われているため、既往調査を「**京浜**」・「**京葉**」・「**茨城**」の**3地区に分けて再整理した。**

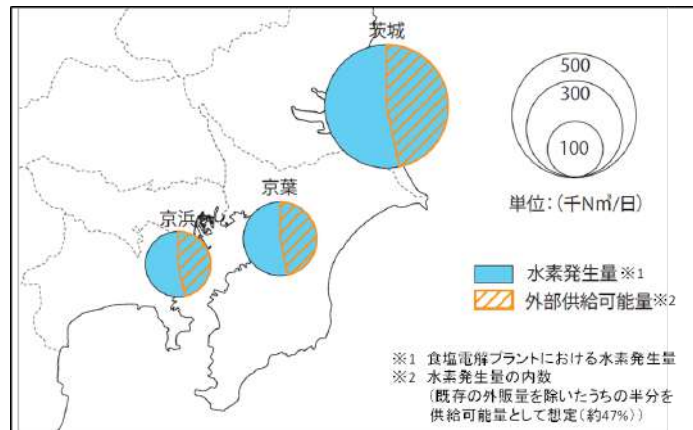


表3.1.1-20 対象企業別外部供給可能量(苛性ソーダ)の一部(報告書P.31)

分野	企業名	既往調査 (Nm ³ /日)	今回調査 (Nm ³ /日)	外部供給に関する課題及び条件
製鉄	JFEスチール(京浜)	178,493	0	・京浜地区は2023年9月に上工程閉鎖予定
	JFEスチール(千葉)	168,390	0	・副生ガスから水素を製造。バランスによっては外部から購入するタイミングがあり、安定供給が保証できず、余力もない。
石油精製	ENEOS(根岸)	409,738	(非公表)	・水素製造装置の稼働率を高めることで一定量の供給は可能。 ・外部供給の際の条件として、水素の製造余力、供給余力としてはあるが、規格、荷姿などに応じて設備改造が必要となる。
	ENEOS(川崎)	348,371	(非公表)	・水素製造装置の稼働率を高めることで一定量の供給は可能。 ・外部供給の際の条件として、水素の製造余力、供給余力としてはあるが、規格、荷姿などに応じて設備改造が必要となる。 ・(エチレンプラント)代替燃料を外部から持ってくることで、水素を外販することはありうと考える。
	東亜石油	87,227	(非公表)	・装置稼働により水素製造装置に余力がある場合に限られる。外部供給のための設備改造及び経済性等の観点から検討が必要
苛性ソーダ	東亜合成(横浜)	34,723	4,000	・必要とする蒸気量が横浜市資源循環局鶴見工場から安定的に受給されるようになれば、水素が余剰となり、副生水素を事業所以外で利用することが可能 ・苛性ソーダ生成時に発生する副生水素の1割程度をボイラーに使用しているため、この1割程度の量が余剰となる。(168万Nm ³ /年)
	RESONAC(川崎)(苛性ソーダ)	29,844	9,000	・苛性ソーダ生産及びアンモニア生産を併せての能力となる。
アンモニア	RESONAC(川崎)(アンモニア)	30,959		

表3.1.1-15 副生水素ポテンシャルのまとめ(報告書P.25)

2. 調査の内容・成果

3.1.2 海外からの水素調達動向及びポテンシャル調査

- ・大手エネルギー企業が提案者に含まれないため、特に難しい項目であった。
- ・そこで、北米を中心とする海外動向や、周辺の競合する海外港湾として韓国・蔚山港を調査した。



図3.1.2-8 蔚山港の位置など(報告書P.45)

3.1.2.2 海外から本邦向けの水素調達プロジェクトの状況



図3.1.2-3 水素輸出国のポテンシャル(報告書P.36)

2030年時点の横浜・川崎臨海部への北米からの調達量を最大27.5万トン/年と見込む

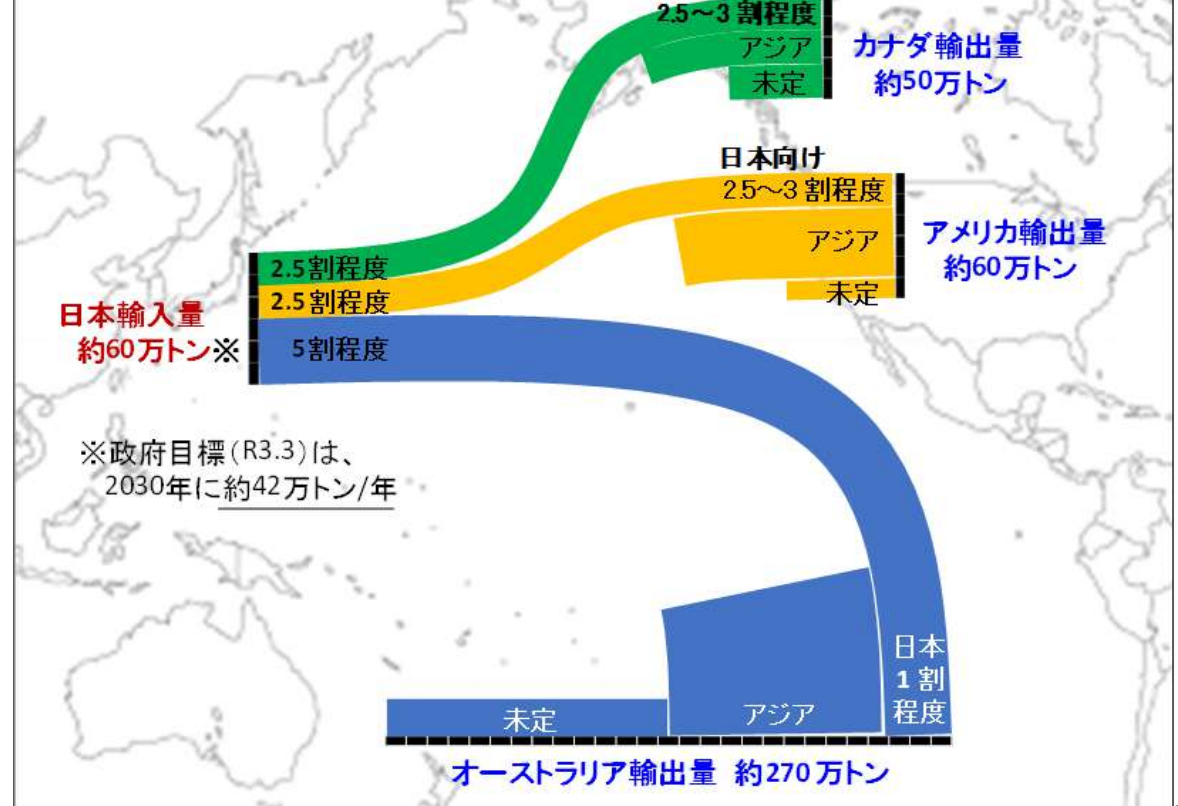


図3.1.2-7 本邦におけるクリーン水素の輸入相手国と輸入量の試算(2030年)(報告書P.41)

2. 調査の内容・成果

3.1.3 国内からの水素調達動向及びポテンシャル調査

国内からの水素調達は、第一にオンサイトの再エネ水電解水素の調達が想定されるが、**横浜・川崎臨海部というローカルエリアにおいては、パイプラインによる供給がオンサイト再エネ水電解による供給よりも優位と想定される。**

そこで、国内からの水素調達に関しては、洋上風力発電所の余剰電力により製造された水素の調達可能性を検討し、洋上風力発電由来電力の調達・運搬方法について整理した。

3.1.4 水素製造・調達ポテンシャルのまとめ

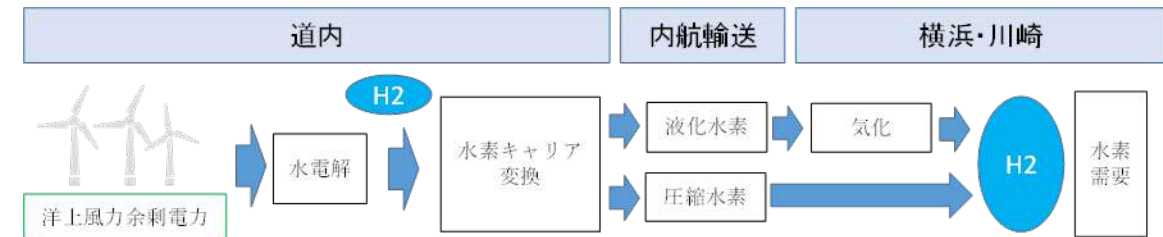
副生水素や国内調達のみでは不足するが、海外文献における本邦への輸出見通しのうち、12~24%を横浜・川崎臨海部で確保できれば需要を満たすと想定した(2030年時点)。



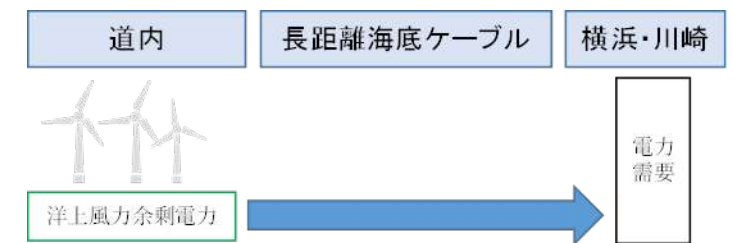
図3.1.4-2 水素調達可能量と横浜・川崎地区の水素需要量との比較(2030年)(報告書P.65)

【洋上風力発電由来電力の調達・運搬方法】(報告書P.55)

①水素キャリアへの変換、内航輸送による運搬



②海底直流送電線による電力の直接調達



③電気運搬船による電力の調達



2. 調査の内容・成果

3.2.1 港湾施設、工場やコンビナート等の産業施設の需要量調査

幅広い産業における水素エネルギーの活用を想定し、**内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「地域エネルギー需給データベース」**を活用して横浜市臨海部および川崎市臨海部のエネルギー需要量調査を行うとともに、水素需要ポテンシャルとして整理した。

臨海部のエネルギー使用量は、
・**地球温暖化対策計画書制度**
・**SIPのエネルギーバランス表**
などを活用して推計。



図3.2.1-6 横浜市のエネルギー需給フロー図(2019年)(報告書P.73)

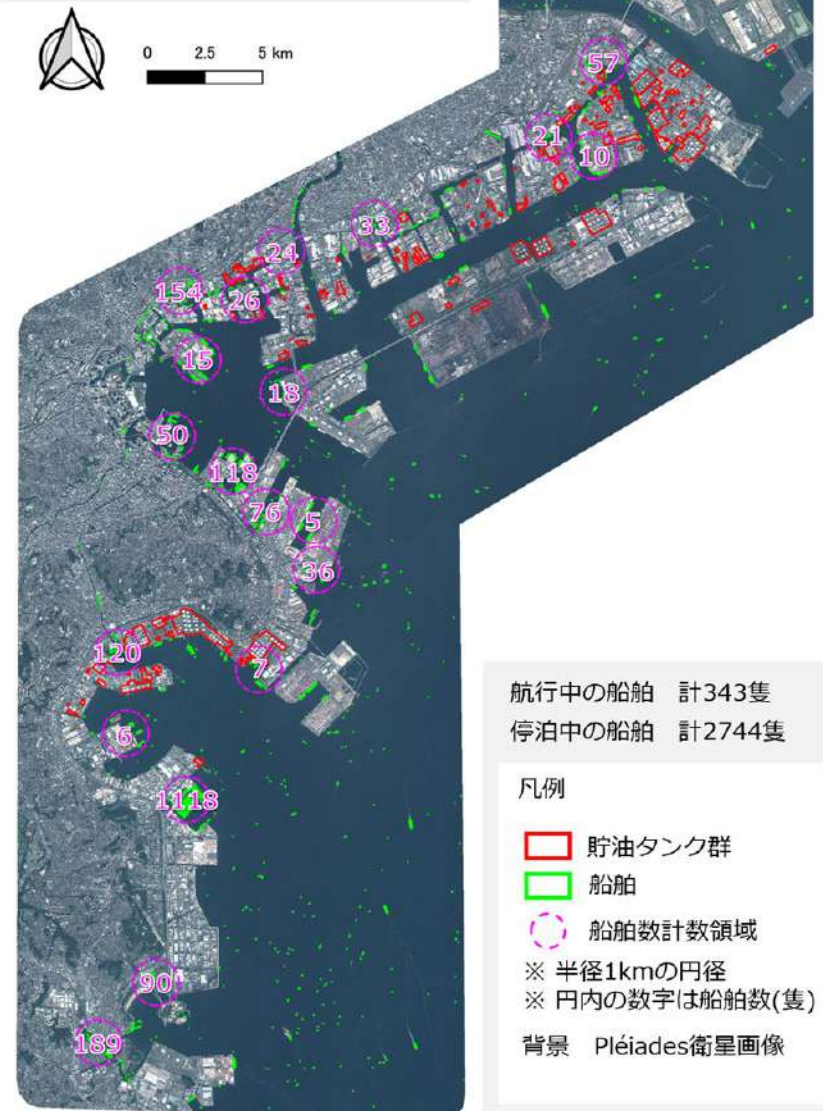
エネルギー使用量に対応する水素需要量を推計するにあたり、独自推計した「**水素利活用の道行き**」を活用して、水素転換率を2030年(中期)は1%、2050年(長期)は27%と設定した。

また、高分解能光学衛星画像を用いて、船舶と貯油タンク群のマッピングを行うことによる、需要量調査も行い、**リモートセンシング学会に『カーボンニュートラルポータル実現に向けた横浜港・川崎港における高分解能光学衛星画像を用いた船舶・貯油タンク群マッピングの取組み』**として発表した。

論文掲載URL(4資料編 資料1)https://www.jstage.jst.go.jp/article/rssj/42/3/42_42.180/_article/-char/ja

著者:村田裕樹 東京大学先端科学技術研究センター特任助教(執筆時:横浜市港湾局)ほか

全域(船舶・貯油タンク)



©CNES_2021, distribution AIRBUS DS, France, all rights reserved

図3.2.1-12 調査領域全域における船舶及び貯油タンク群検出結果(報告書P.80)

2. 調査の内容・成果

3.2.2 停泊時船舶への電力供給に関する調査

CNPの代表的な取組として挙げられる停泊時船舶への電力供給について、日本港湾の視点では海運側や海外規制の把握が不十分と思われるため、**規制・船級協会予測・Green Shipping Corridorの観点から必要性を確認**した。

3.2.2.1 海外港湾、国際海運及び我が国の動向

○船舶燃料規制の動向

(1) 国際海事機関(IMO)による規制

- ①短期
- ②中期
- ③長期

(2) EUによる規制

- ①EU ETS
- ②Fuel EU Maritime
- ③ETD
- ④AFIR
- ⑤RED

(3) 米国カリフォルニア州による規制 2022 Scoping Plan

○次世代船舶燃料の転換予測

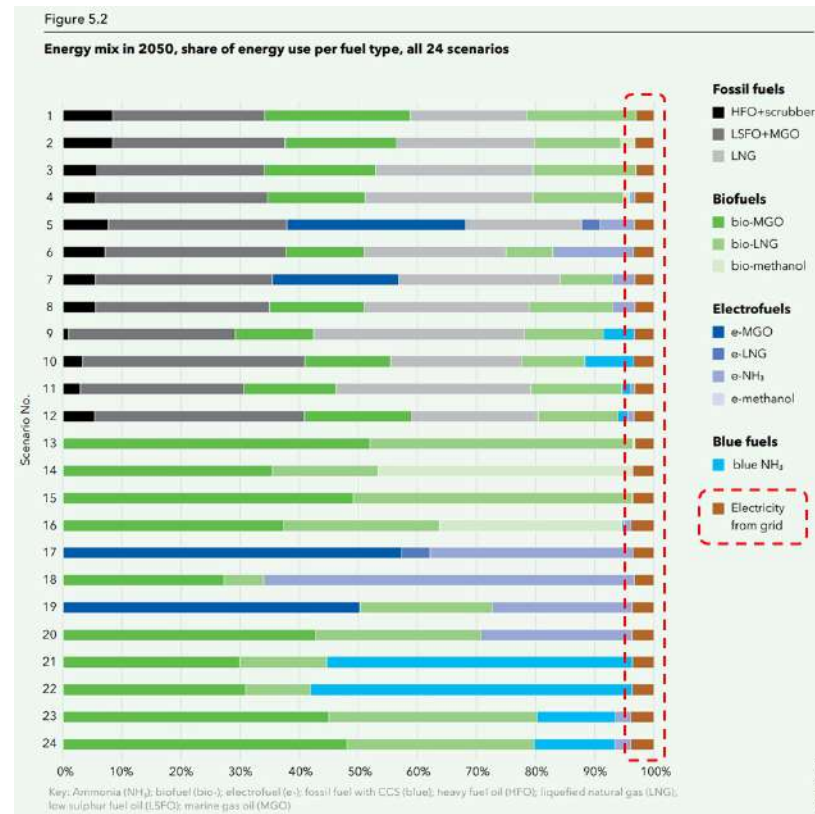


図3.2.2-16 シナリオ別のエネルギーミックス(報告書P.94)

(出典: MARITIME FORECAST TO 2050 (DNV))

○Green Shipping Corridor (GSC)

GSCは現在進行形で定義や枠組みが構築されている。横浜港は2023年3月にロサンゼルス港とMOUを締結した。

(主な国際的な活動事例)

- Zero-Emission Shipping Mission
- Getting to Zero Coalition
- Green Shipping Challenge
- C40 Green Port Forum

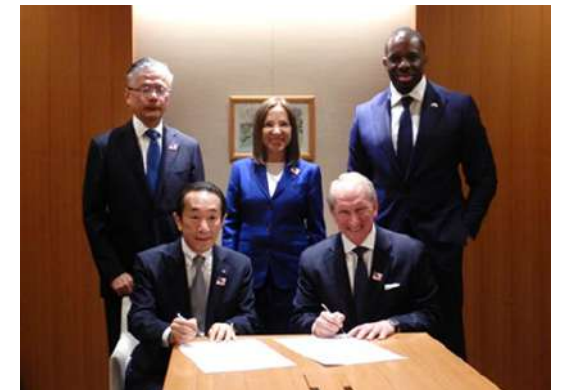


図3.2.2-21 横浜港-LA港 MOU締結式(報告書P.107)

2. 調査の内容・成果

3.2.2.2 陸電の世界的動向(～3.2.2.10 陸電供給における水素利活用の可能性検討まで)

水素活用を目指す過程における石油系燃料の電化との位置づけで調査を実施。世界動向～国内動向～国際規格～海外導入事例～横浜港内ケーススタディ～導入課題～陸電における水素利活用の可能性検討、という流れで調査を行った。

対象船舶	規格	概要
コンテナ船	IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex D)	(1)受電電圧：AC6.6kV (2)最大供給電力(陸上インフラ設備容量)： 7.5MVA、ケーブル本数は2本にて接続 (3)推定短絡電流値：16kA rms (4)Cable management system 装備位置： 船側へ装備(一般的にはケーブルリール)
クルーズ船	IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex C)	AC11kV/6.6kV 4本他 16MVA(20MVA推奨)
自動車専用運搬船 (PCC)	※規格作成中 IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex G) (予定)	AC11kV 1本 7.5MVA (見込み)
RO-RO・貨客船	IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex B)	AC11kV(6.6kV地域限定) 1本 6.5MVA
LNG船(運搬船)	IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex E)	AC6.6kV 3本 10.7MVA
タンカー	IEC/ISO/IEEE 80005-1 (Annex F)	AC6.6kV 3本 10.8MVA
小型船	IEC/IEEE 80005-3	400V以上1000V未満、250A以上
小型船	JIS F 1028	長さ24m以下、20トン未満、 単相交流50Hz, 60Hz 125V

表3.2.2-2 陸電規格一覧(IEC/ISO/IEEE80005-1)(報告書P.116)

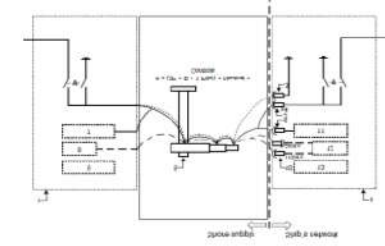
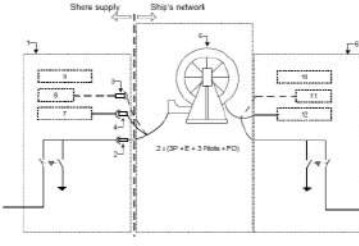
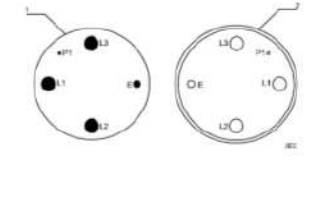
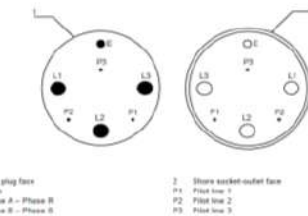
	Annex C (規定) クルーズ船	Annex D (規定) コンテナ船
電圧	AC11kV及び/または6.6kV	6.6kV
船陸間の ケーブル本数	4本 パワー 1本 ニュートラル 1本 制御ケーブル	2本
最大需要電力	16MVA 以上 (20MVA 推奨)	7.5MVA
システム 構成図		
プラグ及び ソケット		
Key	<ul style="list-style-type: none"> 1 Ship connector face 2 Ship inlet face E Earth P1 Pilot line 1 (used for continuity check) L1 Phase A - phase R L2 Phase D - phase S L3 Phase C - phase T 	<ul style="list-style-type: none"> 1 Ship plug face E Earth L1 Phase A - Phase R L2 Phase D - Phase S L3 Phase C - Phase T 2 Shore socket-outlet face P1 Pilot line 1 P2 Pilot line 2 P3 Pilot line 3

表3.2.2-3 主要船種における陸電規格システム構成等(報告書P.117)

2. 調査の内容・成果

■ 3.2.3 水素燃料船舶への燃料供給に関する調査

次世代船舶燃料予測において最も知見がある船級協会であるDNVは船舶燃料としての水素利用には他の燃料に比べて時間を要すると分析している。そこで、本項目では過去の液化水素船プロジェクトや現在唯一運航されている圧縮水素ガス燃料船について、港湾管理側の立場から調査を行った。その他、我が国の船舶燃料供給事業の課題を紹介した。

■ 3.2.3.2 液化水素燃料船の検討事例を通じた港湾管理者側の整理事項

NEDO助成事業として「高出力燃料電池搭載内航船舶の実用化に向けた実証事業」に日本郵船株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、川崎重工業株式会社、一般財団法人日本海事協会及びENEOS株式会社（以下、「NYKコンソ」という。）が2020年9月から2022年6月まで取り組んだ。当該プロジェクトに横浜市港湾局が岸壁利用の調整を行う立場で参加した際に得た、港湾管理側が把握すべき内容を整理した。

■ 3.2.3.3 圧縮ガス水素燃料船の普及に向けた港湾管理者側の整理事項

現時点で実際に運航されている水素燃料船は圧縮水素ガスを燃料とする船舶のみである。そこで、実際の運航事例として、ジャパンハイドロ株式会社が運航する「ハイドロびんご」について、ヒアリングした内容を紹介する。そして、港湾管理者側の視点から今後の普及について期待される事項を考察した。

■ 3.2.3.4 船舶燃料供給事業の課題

横浜市港湾局は国内のいずれの港湾管理者よりも積極的にLNGバンカリング事業に関わってきたと考えている。そこで、これまでのLNGバンカリングに関する取組のうち外航船舶への燃料油積込手続きの規制緩和、LNGバンカリング船の係留について紹介し、我が国の船舶燃料供給事業の課題について考察した。

■ 3.2.3.5 船舶燃料としての水素利活用ポテンシャル

本項目では小型船で水素への燃料転換が起こると仮定し、衛星画像分析を通じて隻数を把握した小型船舶の燃料転換について推計を行った。

2. 調査の内容・成果

■ 3.2.4 荷役機械等の水素化に関する調査

水素利用と電化の取組が期待される分野である。国内外の荷役機械の水素化の状況整理～水素化の課題～RTGの水素化検討～RTGに対応する水素ステーションの検討～荷役機械の水素利活用ポテンシャル～の流れで調査を実施した。

■ 3.2.4.4 RTGの水素化に向けた検討

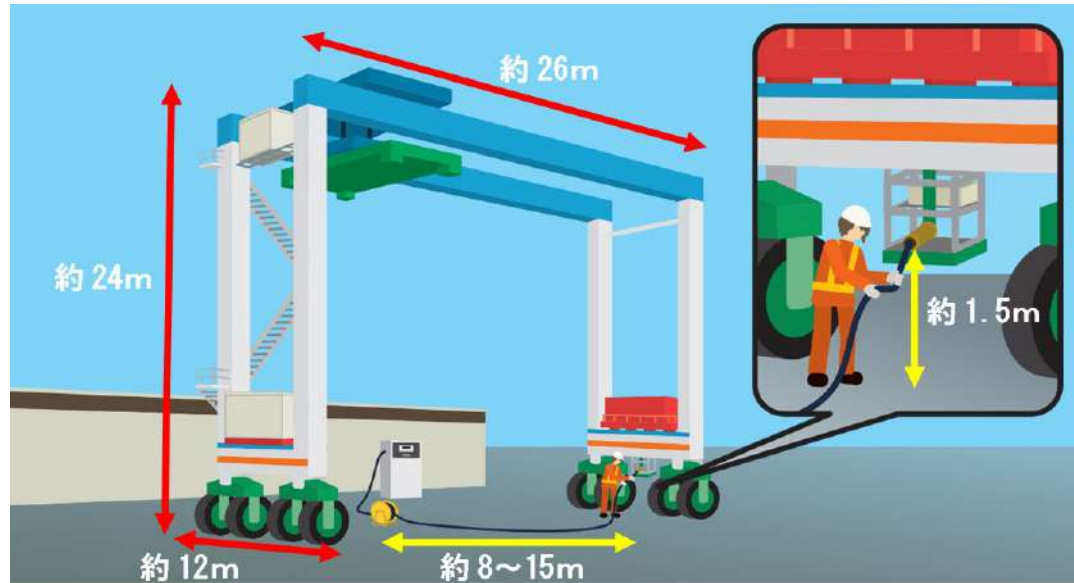


図3.2.4-11 RTGへの給油作業のイメージ(横浜市作成)(報告書P.197)

○ RTG向けの水素ステーションの仕様等に関する検討

(1) 導入条件は、コンテナターミナルに短中期的に水素燃料RTGを2台導入すると仮定する。

(2) 次の条件で水素消費量を設定する。

- ・年間稼働時間: 3,000時間
- ・燃料消費量: 20L/h(軽油)

⇒水素消費量: 10t/年・台 ⇒41kg/日・台

(3) ここで現時点で唯一実現可能な方式として、オフサイト方式の定置式水素ステーションを想定する。

(4) 検討にあたっては実際の運営事業者や荷役機械メーカーから情報提供をいただいたが、報告書においては場所等が特定されないよう一般化した。

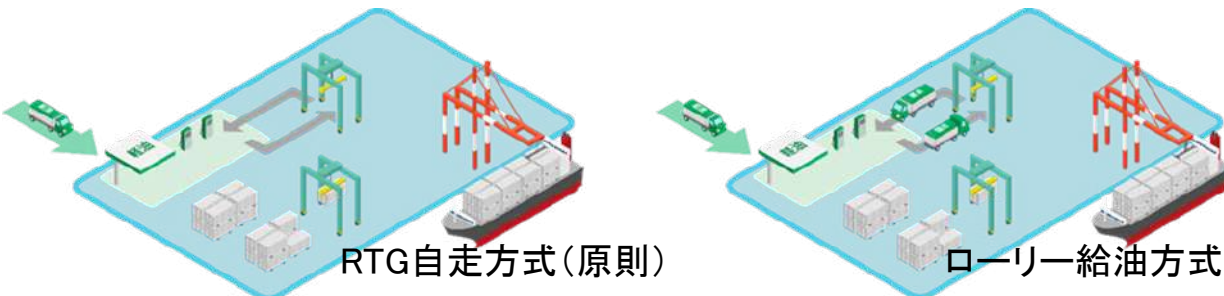


図3.2.4-10 RTGへの燃料供給方法(横浜市作成)(報告書P.197)

2. 調査の内容・成果

OR TG向けの水素ステーションのレイアウト案1

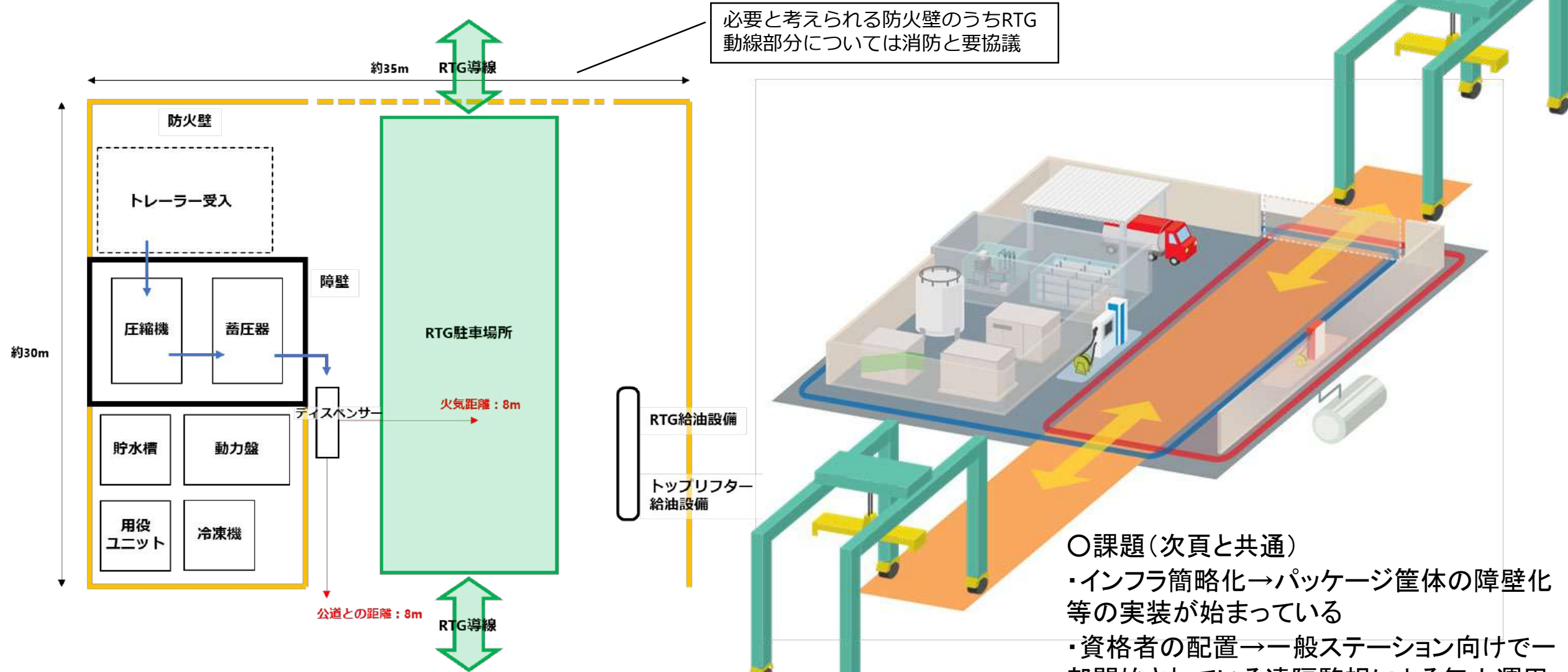
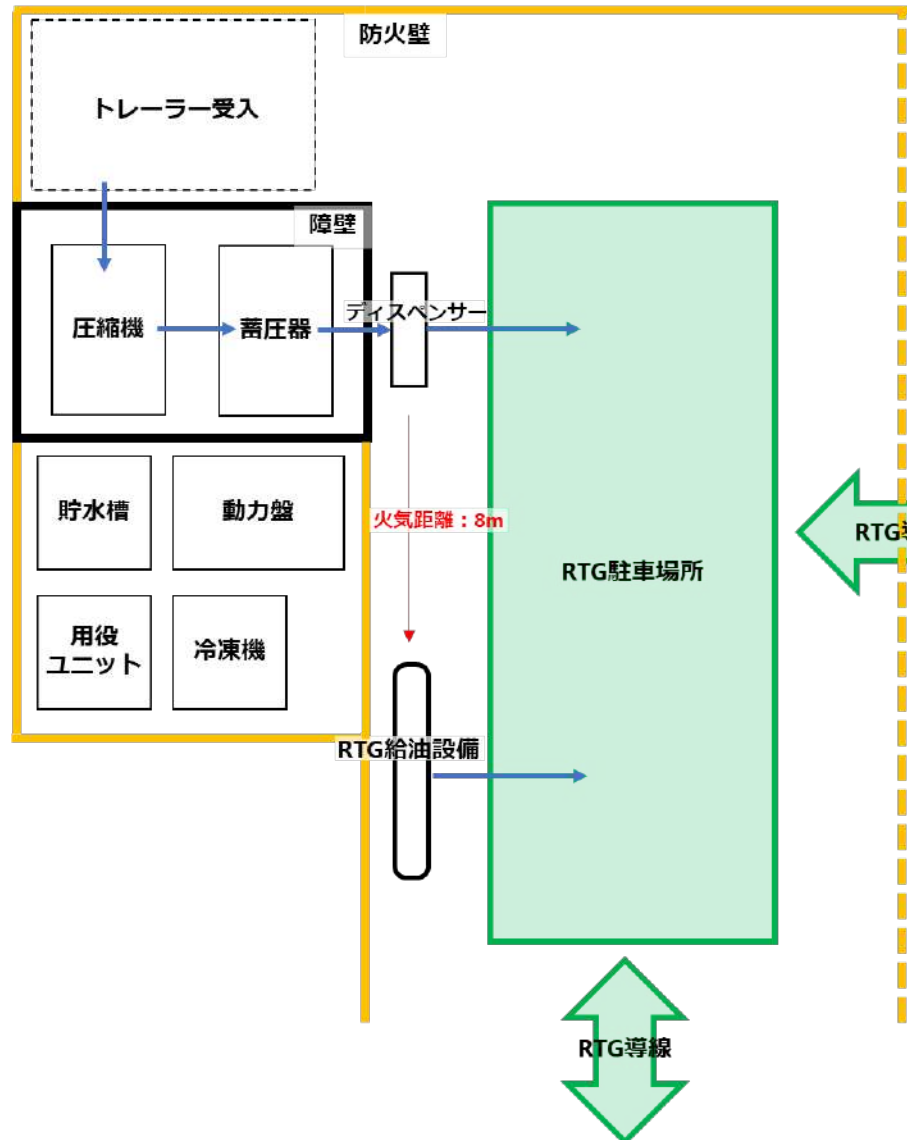


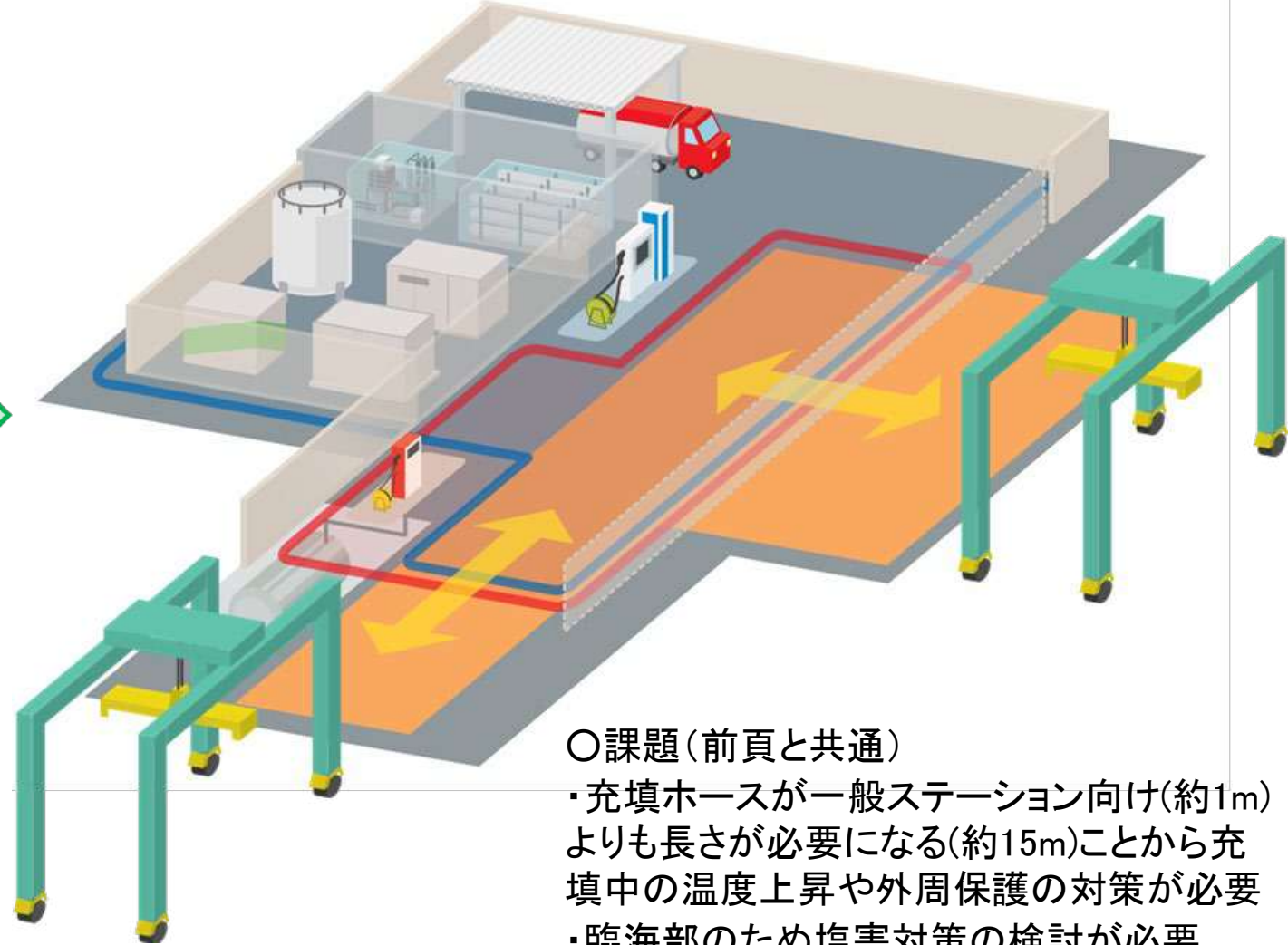
図3.2.4-19 FC-RTG向け水素ステーションレイアウト案1(横浜市作成)(報告書P.207)

2. 調査の内容・成果

OR TG向けの水素ステーションのレイアウト案2



必要と考えられる防火壁のうちRTG動線部分については消防と要協議



○課題(前頁と共通)

- ・充填ホースが一般ステーション向け(約1m)よりも長さが必要になる(約15m)ことから充填中の温度上昇や外周保護の対策が必要
- ・臨海部のため塩害対策の検討が必要

図3.2.4-20 FC-RTG向け水素ステーションレイアウト案2(横浜市作成)(報告書P.207)

2. 調査の内容・成果

3.2.5 海上コンテナの陸上輸送の水素化に関する調査

海上コンテナの陸上輸送に用いられるトラック輸送と鉄道輸送を対象として水素化の可能性を調査した。横浜港の輸出入コンテナの国内輸送の96%がトレーラー輸送で、鉄道輸送はわずか0.02%である(平成30年度)。脱炭素化に向けて海上コンテナの鉄道輸送の一層の推進、さらには非電化路線の電動化・水素化が期待される。

○横浜港における海上コンテナの陸上輸送の概要

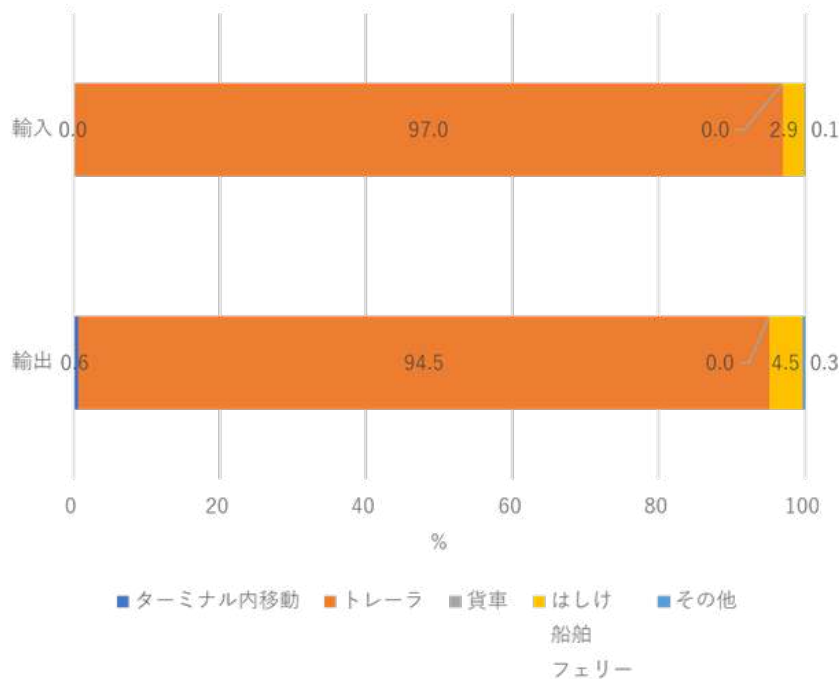


図3.2.5-1 横浜港における海上コンテナの輸送手段別の割合(報告書P.218)

○トラック・鉄道の水素化等の状況と課題

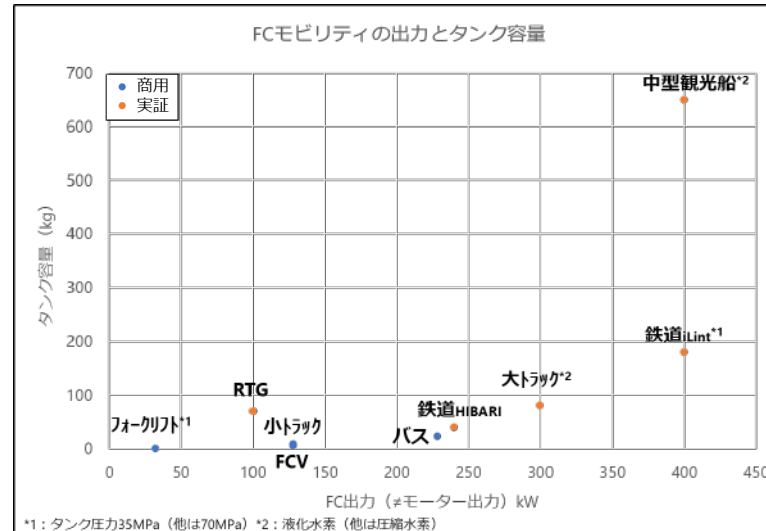


図3.2.5-18 各種FCモビリティの出力とタンク容量(報告書P.229)

○トラック・鉄道の水素利活用ポテンシャル

車両区分		市内に登録	市外に登録
その他	コンテナ トラック (トレーラ)	①	
	大型 トラック	②	
小型 トラック			

- ①コンテナ数量データをもとに算定
- ②登録台数×平均走行距離により算定

図3.2.5-24 算定対象範囲の整理(報告書P.236)

2. 調査の内容・成果

3.2.6 再エネ・燃料電池等を活用した埠頭におけるエネルギーマネジメント

埠頭におけるエネルギーマネジメントとして、**仮想のコンテナターミナルに陸上風力発電設備を設置するケースを設定し**、コンテナターミナルにおいて再エネ、燃料電池及び蓄電池等の活用による脱炭素化取組について検討した。また、港湾管理者側の観点から**横浜市における水素関連設備の設置事例**や直近の法改正の内容を紹介する。



図3.2.6-5 検討事例のイメージ(報告書P.241)



図3.2.6-1 年間電力消費量の想定 (報告書P.239)

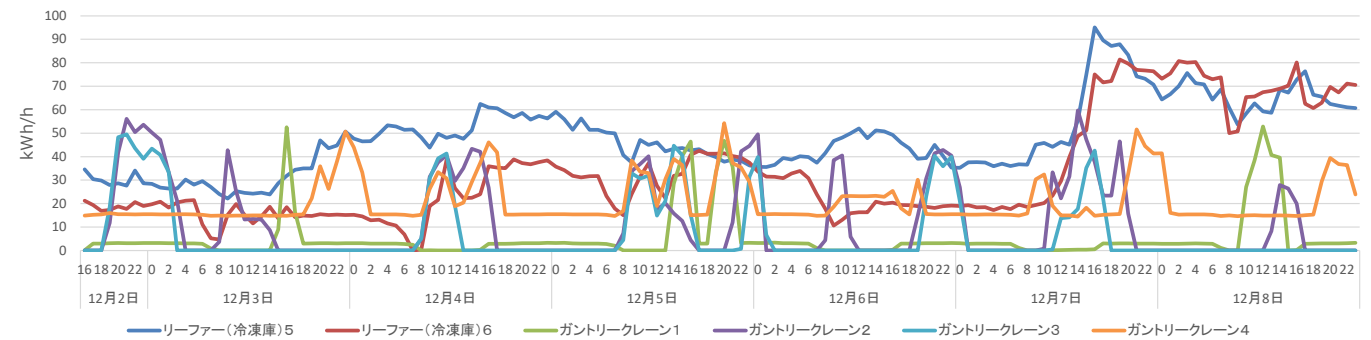


図3.2.6-2 リーファーコンテナとガントリークレーンの時刻別の電力消費状況(報告書P.240)

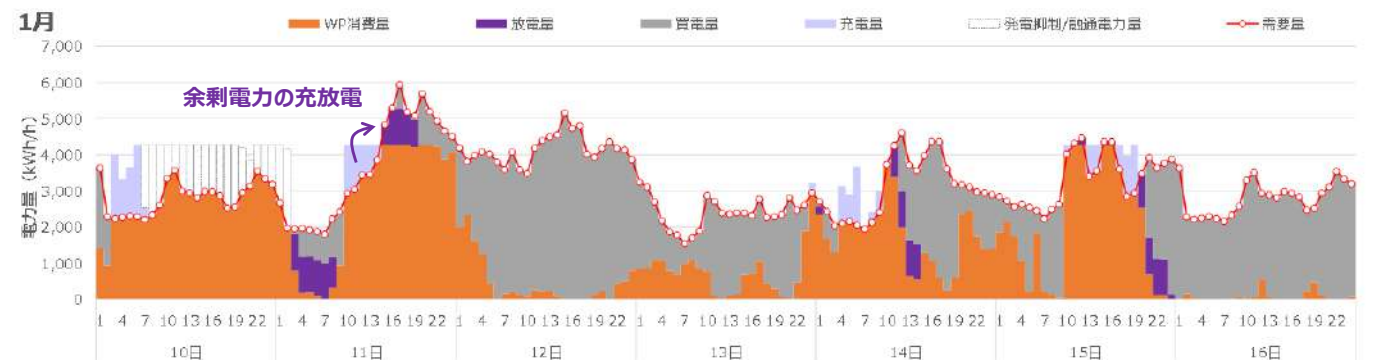


図3.2.6-9 エネルギーマネジメントの様子(検討ケース①)(報告書P.245)

2. 調査の内容・成果

3.2.7 パイプライン等も活用した水素の貯蔵・配送手法の効率化に関する調査

横浜・川崎臨海部のローカルエリアにおける水素供給の方法としては、将来的に近隣への設置が想定される水素輸入基地等から距離が近い特性を活かして、パイプラインを用いた水素供給を実現することが有望と考えられる。今後、大手エネルギー事業者の取組との連携を図り、港湾エリアでの水素利用拡大を図るため、インフラ整備の一端を担う港湾管理側の立場からパイプライン等を活用した水素の貯蔵・配送等について情報を整理した。

○横浜港周辺の発電所等の既存インフラの立地状況



図3.2.7-9 既存インフラ及び事業用発電所等の立地状況(報告書P.265)

○水素パイプライン導入に向けた必要情報・諸課題

法規	規制対象		概要
ガス事業法	ガス事業	ガス小売事業	一般の需要(大口・小口)に応じて導管によりガスを供給
		一般ガス導管事業	自らが維持運用する導管により行う託送供給(12A, 13Aのみ)
		特定ガス導管事業	特定供給区域で行う託送供給(主成分メタンのみ)
	ガス製造事業	液化ガス貯蔵容量20万kL以上でガス事業の導管と接続されている	
準用事業	ガス事業以外のガスを供給する事業		
	自ら製造したガスを使用する事業		
高圧ガス保安法	1MPa以上の圧縮ガス等		導管による高圧ガスの輸送
電気事業法	発電設備等		付帯設備としてのガス設備等

表3.2.7-6 水素パイプラインに関連する現行の法規(報告書P.268)

2. 調査の内容・成果

3.3.2 温室効果ガス排出量の現況推計と削減効果の検討

全国の港湾管理者が脱炭素化計画(CNP形成計画)の策定に取り組むなか、国が示すCO2推計方法では地方自治体の環境部局が有する数値との整合が図りにくいなど改善を要する点が多いため、本項目では**地方自治体(港湾管理者)に適した方法を提案した**。なお、**停泊中船舶からのCO2排出量推計については、計算用エクセルも公開しているので、全国の港湾管理者が活用できると考えている**。

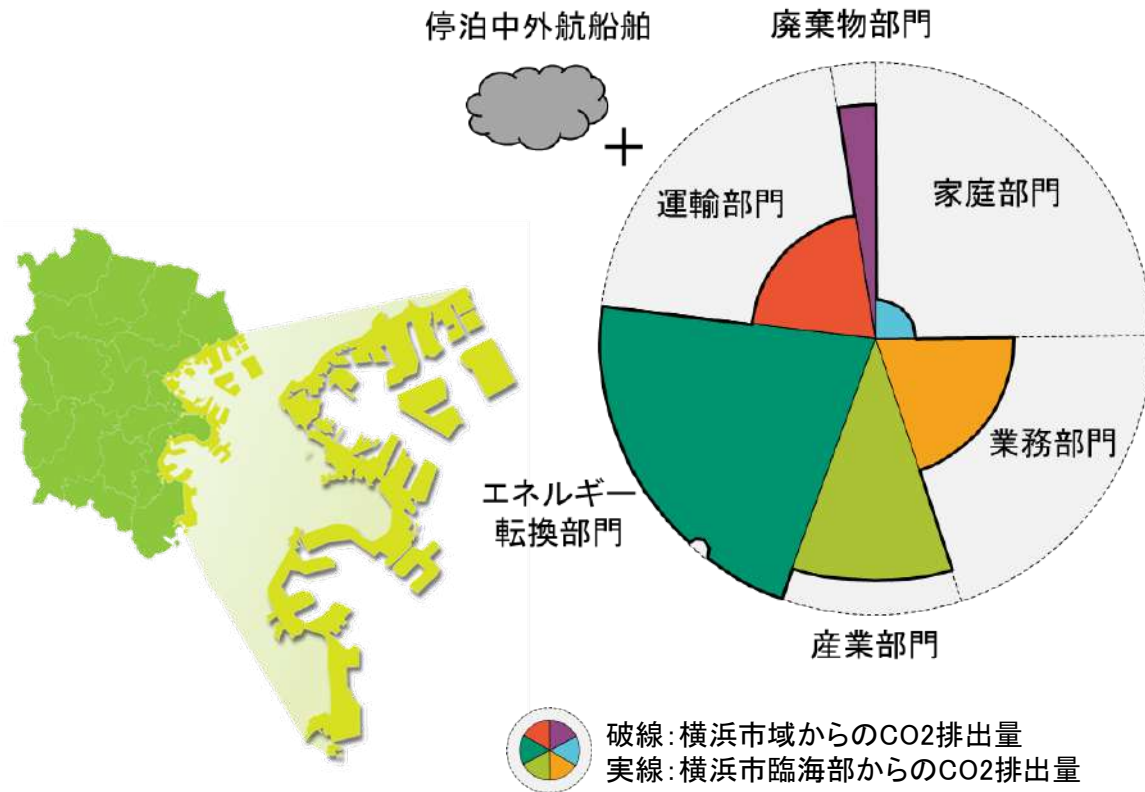


表3.3.2-1 横浜市臨海部と横浜市域からのCO2排出量の推計結果(報告書P.283)

[排出量推計結果] (単位: 万t-CO₂、%)

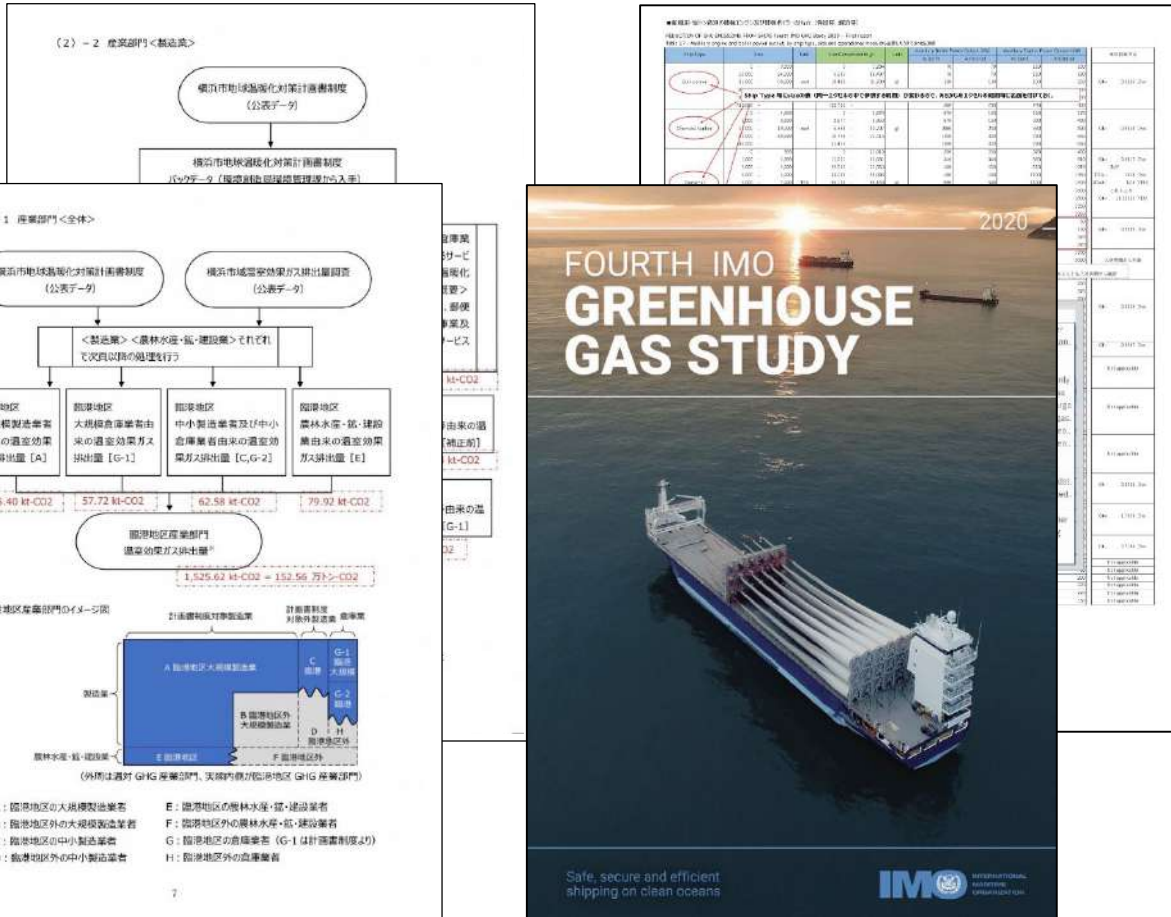
2019年度 (平成31/令和元年度)	横浜市臨海部		横浜市域		市臨海部 /市域
	排出量	構成比	排出量	構成比	
陸域からの排出量	723.3	100.0	1,738.7	100.0	41.6
エネルギー転換部門	385.0	53.2	385.5	22.2	99.9
産業部門	139.0	19.2	181.5	10.4	76.6
業務部門	83.1	11.5	336.4	19.3	24.7
運輸部門	71.5	9.9	356.0	20.5	20.1
廃棄物部門	35.9	5.0	48.2	2.8	74.5
家庭部門	8.7	1.2	431.1	24.8	2.0
停泊中外航船舶からの排出量	19.0	100.0	19.0	100.0	100.0
横浜市臨海部からの排出量 合計	742.3	100.0	1,757.7	100.0	42.2

図3.3.2-1 横浜市臨海部の対象エリアと横浜市臨海部からのCO2排出量の市域に対する割合のイメージ(報告書P.283)

2. 調査の内容・成果

- 陸域からの温室効果ガス排出量の推計方法(左)
- 停泊中船舶からのCO2排出量の推計方法(右)

- 国土交通省が示す停泊中船舶から排出されるCO2推計方法の課題



国土交通省方式の課題を指摘するとともに、デンマーク工科大学のコンテナ航路におけるカーボンリーケージに関する論文※に記載されていた**EU-MRVデータベース値に近似するCO2排出量の推計値と横浜市方式と国交省方式の推計値の偏差の大きさを比較した。**

表3.3.2-18 横浜市方式とデンマーク工科大学方式の比較表(報告書P.308)

航路	TEUs	停泊時間 (h)	横浜市IMO方式 推計値 (t-CO2)	デンマーク工科大学方式 推計値 (t-CO2)	偏差 (%)
AEU1	20000	407.3	728.7	792.6 (776.8)	-8% (-6%)
AEU3	20000	268.0	755.5	822.8 (798.1)	-8% (-5%)
AEU7	14000	318.0	521.0	660.2 (706.4)	-21% (-26%)
AE10	20000	472.9	846.1	920.4 (966.4)	-8% (-12%)
TA6	10000	428.0	651.3	739.6 (717.4)	-12% (-9%)

表3.3.2-19 国交省方式とデンマーク工科大学方式の比較表(報告書P.308)

航路	TEUs	停泊時間 (h)	国土交通省方式 推計値 (t-CO2)	デンマーク工科大学方式 推計値 (t-CO2)	偏差 (%)
AEU1	20000	407.3	1,163.9	792.6 (776.8)	47% (50%)
AEU3	20000	268.0	1,206.8	822.8 (798.1)	47% (51%)
AEU7	14000	318.0	725.9	660.2 (706.4)	10% (3%)
AE10	20000	472.9	1,351.5	920.4 (966.4)	47% (40%)
TA6	10000	428.0	790.5	739.6 (717.4)	7% (10%)

※Implication of the EU Emissions Trading Systems(ETS)on European container routes: A carbon leakage case study(Sotiria Lagouvardou and Harilaos N.Psarafitis, Technical University of Denmark, Maritime Transport Research 3(2022))

2. 調査の内容・成果

○公共バスからの温室効果ガス排出量の推計方法

公共バスからの温室効果ガス排出量の推計にあたっては、**民間事業者の企業活動による部分が多く匿名性が重要であるため、横浜港の公共バス全体の数字として一般化したうえで、公共バス全体をコンテナ船、自動車船、客船、在来船の4種の用途別に分類して原単位を作成した。**

- ①電気 電力会社からの購入電力量から作成→t-CO₂/TEU または t-CO₂/h
- ②停泊中船舶 船種毎に近似式(下図。X軸:平均総トン数、Y軸:1時間あたりCO₂排出量)を作成→t-CO₂/h
- ③荷役機械 コンテナターミナル借受者等から得られた燃料使用量から作成→t-CO₂/TEU または t-CO₂/h

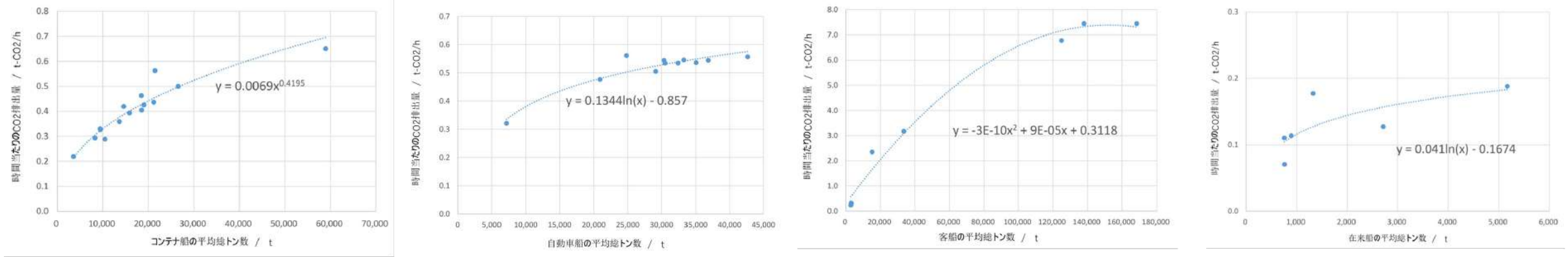


図3.3.2-3~6 コンテナ船等の平均総トン数別単位停泊時間当たりの二酸化炭素排出量(報告書P.311,312)

○2013年度と2030年度の公共バスからの温室効果ガス排出量の推計

上記にて算出した近似式及び原単位を使用して、基準年である2013年度と、目標年である2030年度の二酸化炭素排出量を推計した。2013年度は統計情報の実績値を使用し、**2030年度は取扱貨物量の増加を見込んだ想定値※を使用した。その結果、2030年度の二酸化炭素排出量を2013年度比46%削減とした場合、公共バスはBAUに対して約55%の削減が必要**となった。 ※項目3.3.2.2.2と3.3.2.2.3は将来推計活動量(取り扱い貨物量など)の変化を見込んでいる。

2. 調査の内容・成果

3.3.2.2.3 2030年度の公共バスからの温室効果ガス排出量の削減対策の検討

設計探査ツール(HEEDS、Siemens社)を活用して、下記の条件を満たす横浜港の公共ターミナル全体での最適な削減対策の組み合わせを試算した。

CO2排出削減量
≥ 約55%

&

概算整備費用
最小

HEEDS

	CO2排出源	対策案
1	電気	再エネ由来CO2フリー電力
2	停泊中船舶	陸電、真空係留装置
3	RTG、ストラドルキャリア	NZ-RTG、E-RTG、FC-RTG
4	トップリフター	電化(バッテリー式)
5	フォークリフト	FCフォークリフト
6	構内シャーシ	電化(バッテリー式)

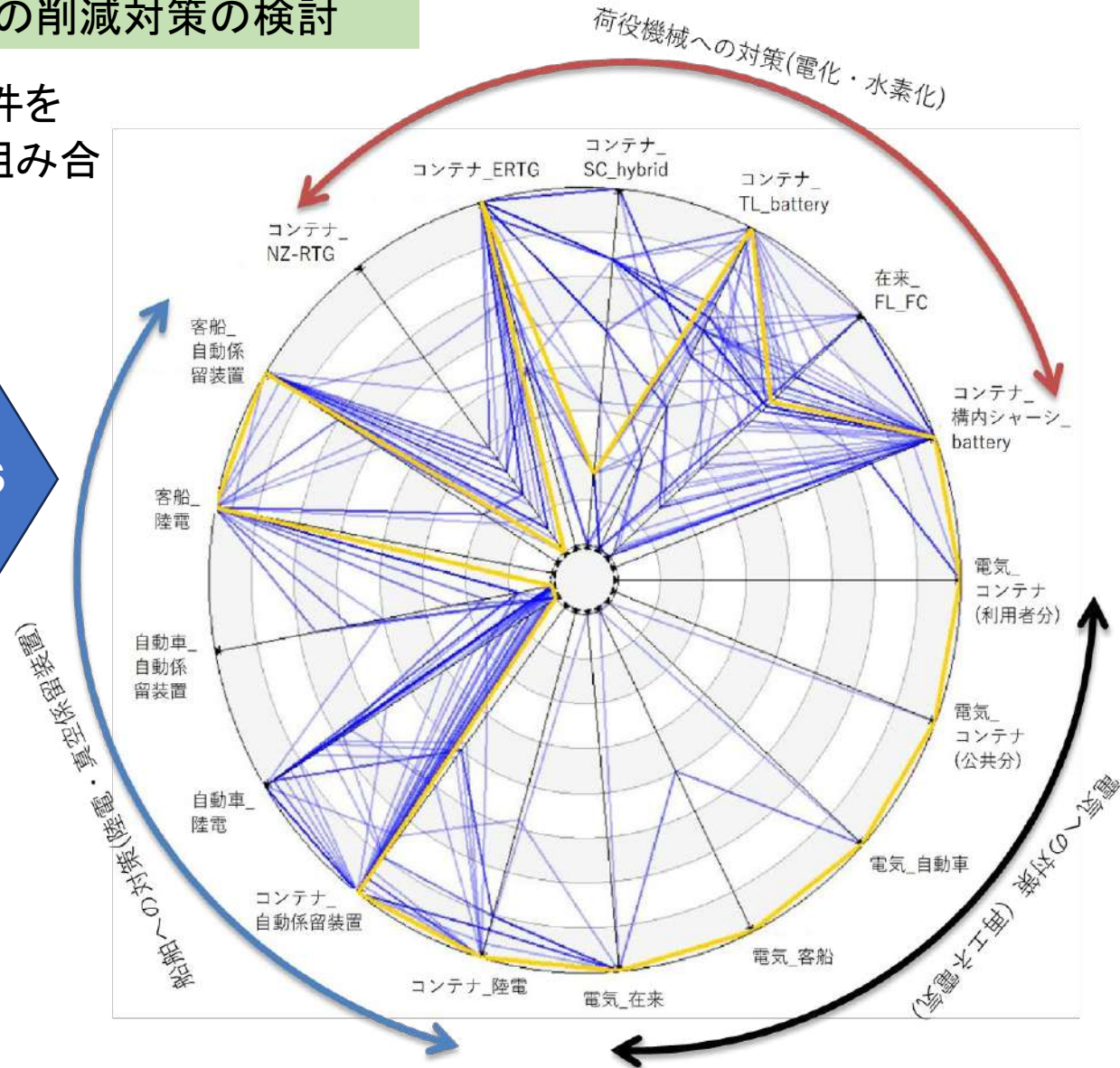


図3.3.2-9 フィージブルデザインの結果(報告書P.332)

2. 調査の内容・成果

3.3.3 経済性の評価指標の検討

私どもは水素調達コストを主体的に検討できる構成ではないため、調達コストは政府の目標値(2030年に30円/Nm³、2050年に向けて20円/Nm³へ低減)を前提とせざるを得ない。ゆえにパリティコストの算定は既知の内容と大きく変わらない結果となる。そこで、経済性の評価を「地域の経済活動」及び「経済と環境」という視点から試みた。検討にあたっては、**国立環境研究所の3EID(産業連関表による環境負荷原単位データブック: Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables)**を用いて分析を行い、**地域における経済活動と環境対策の関係について調査**を行った。

3.3.3.1.1 横浜市産業連関表からみた横浜市経済の特徴

エネルギー転換部門3業種(石油製品、電力、ガス)を中心に横浜市経済の特徴を分析した(図は一部)。その結果、**3業種は横浜市経済における比較優位産業の特性を有している**ことが明らかになった。

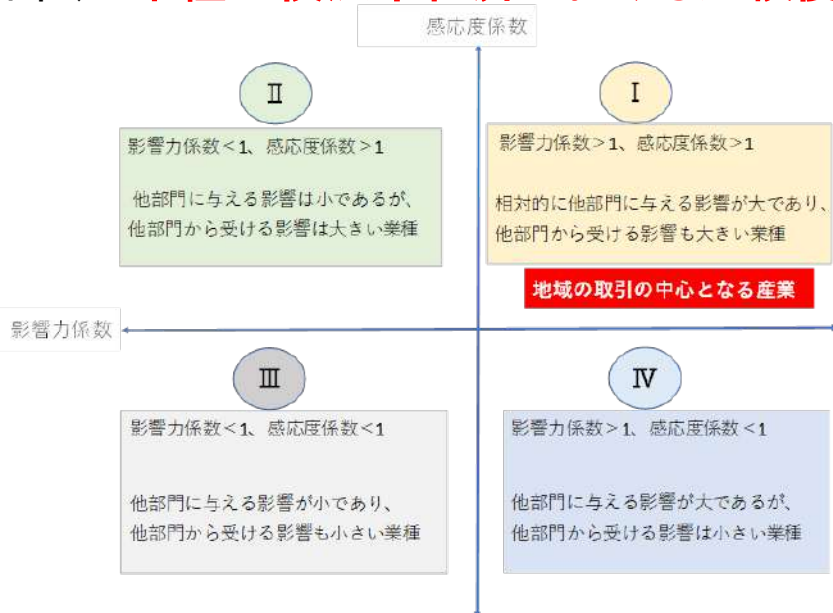


図3.3.3-12 影響力係数と感応度係数による各象限の意味(報告書P.367)

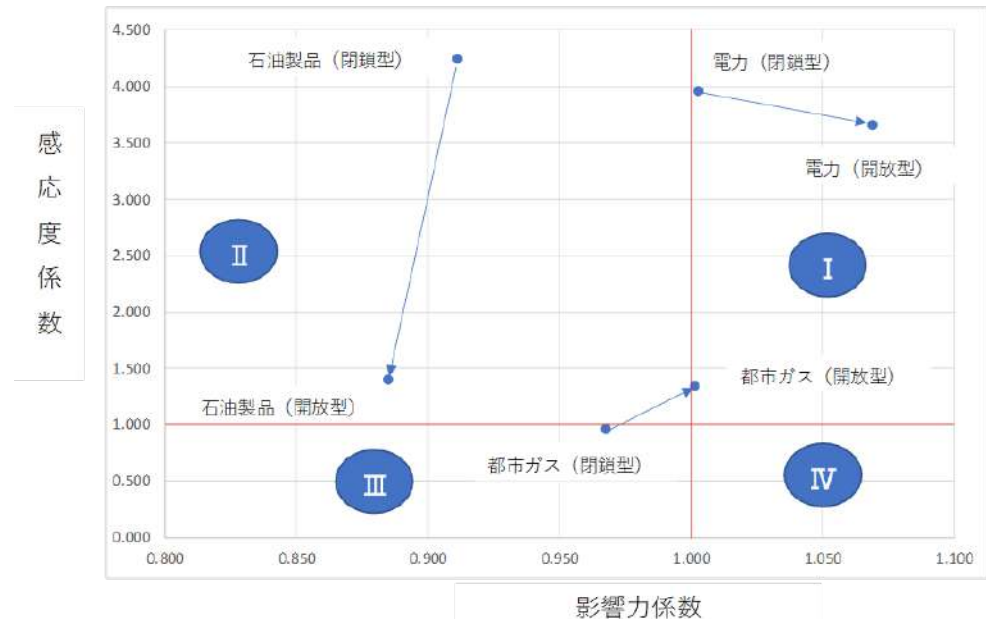


図3.3.3-13 エネルギー転換部門の影響力係数・感応度係数(報告書P.368)

2. 調査の内容・成果

■ 3.3.3.1.2 3EIDを活用した横浜市の二酸化炭素排出量の推計

3EIDは、Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tablesの頭文字をとった略語であり、国立環境研究所が、国の産業連関表の公表に合わせて、5年に一度作成している指標である。エネルギー(Energy)、環境(Environment)、経済(Economy)の3Eの問題を解くための指標の一つとして、具体的には、**産業連関表の基本分類の生産額(百万円)に対する二酸化炭素排出量(t-CO₂)等環境負荷量**が推計されている。

○本調査における3EID活用の目的

[1]横浜市全体の二酸化炭素排出量の推計

横浜市の産業活動や家計の消費支出に伴う二酸化炭素排出量の推計

[2]横浜市臨海部の二酸化炭素排出量の推計

横浜市の臨海部の経済活動に伴う二酸化炭素排出量の推計

[3]エネルギー転換3業種の変動がもたらす経済波及効果の評価

石油製品、電力、都市ガスの変動が横浜市経済に及ぼす経済波及効果について、本調査の分析から得られる業種別二酸化炭素排出係数を用いて評価を行う。

[4]新規プロジェクトの経済波及効果の評価

今後CNP(カーボンニュートラルポート)実現に向けた新規プロジェクトが横浜市経済に及ぼす経済波及効果について、業種別二酸化炭素排出係数を用いて分析を行う。

2. 調査の内容・成果

[1] 横浜市全体の二酸化炭素排出量の推計

- ・3EIDは直接排出量ベースのため、間接排出量ベースの横浜市公表値に市内発電所の配分前CO2排出量を加算した(右表の現状:2,891.7万t-CO2)。
- ・3EIDは全国値のため、電力部門のみ市内発電所の数値に調整した値を本調査では採用した(右表のケース4:3,157.2万t-CO2)。
- ・国立環境研究所によれば1割程度の誤差は許容範囲内

[2] 横浜市臨海部の二酸化炭素排出量の推計

- ・3EID(直接排出量ベース)による推計では、横浜市臨海部のCO2排出量は市域全体の約75%を占める。

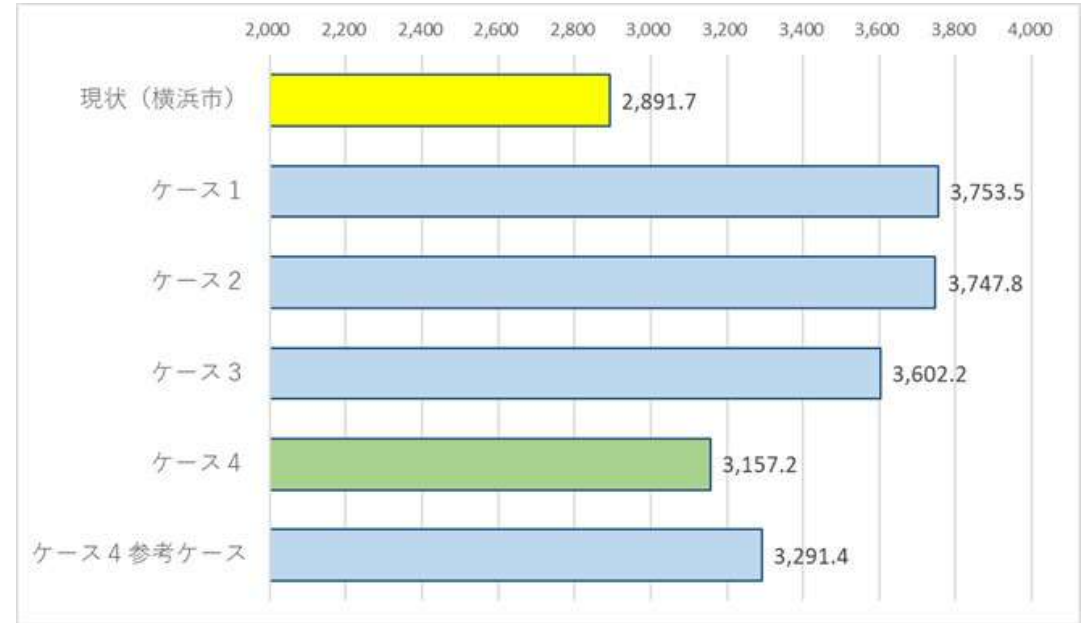
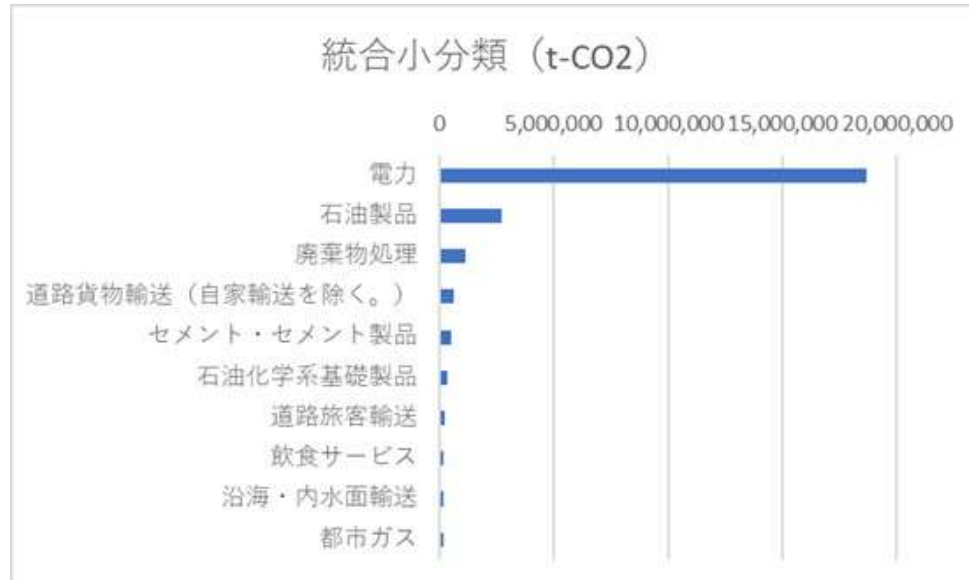


図3.3.3-15 横浜市の二酸化炭素排出量の推計結果(単位:万t-CO2)(報告書P.374)



順位	統合小分類	二酸化炭素排出量 (t-CO2)	構成比
1	電力	18,691,780	59.2%
2	石油製品	2,726,927	8.6%
3	廃棄物処理	1,122,985	3.6%
4	道路貨物輸送(自家輸送を除く。)	653,477	2.1%
5	セメント・セメント製品	532,630	1.7%
6	石油化学系基礎製品	361,423	1.1%
7	道路旅客輸送	247,176	0.8%
8	飲食サービス	201,505	0.6%
9	沿海・内水面輸送	197,904	0.6%
10	都市ガス	192,675	0.6%

図3.3.3-16 統合小分類の二酸化炭素排出量の上位業種(報告書P.375)

2. 調査の内容・成果

[3] エネルギー転換部門の事業活動がもたらす横浜市経済への波及効果の推計

横浜市のエネルギー転換3業種である、石油製品、電力及び都市ガスの産業特性は、3業種ともに横浜市経済における比較優位産業の特性を有していると分析された。そこで、エネルギー転換3業種の地域経済への影響力について、産業連関表を用いた経済波及効果分析によって以下の点を特に明らかにした。

- ① 地域経済への影響度
- ② 影響の大きい産業の特定化
- ③ 市場と環境の両方の観点からの評価

	生産額	変動率	変動額
石油製品	1,254,449	10%	125,445
電力	928,964	10%	92,896
ガス・熱供給	304,548	10%	30,455
(参考) 合計	2,487,961	10%	248,796

表3.3.3-10 推計の前提条件(単位:百万円、%) (報告書P.383)

	生産額(百万円)				付加価値額 (百万円)	雇用者数 (人)	二酸化炭素排出 量 (t-CO ₂)
	直接効果	間接効果		波及効果計			
		一次	二次				
	a	b	c	d=a+b+c	e=d+h	f=d*i	g=d*j
石油製品	125,445	5,665	386	131,496	42,154	399	297,880
電力	92,896	25,079	1,815	119,790	45,299	1,741	2,078,264
ガス・熱供給	30,455	6,134	873	37,463	13,594	848	47,895

表3.3.3-11 経済波及効果の推計結果の要約(報告書P.385)

	1位	2位	3位	4位	5位
石油製品	電力 (21.3%)	倉庫 (18.6%)	商業 (14.3%)	その他の対事 業所サービス (6.7%)	金融・保険 (4.9%)
電力	その他の対事 業所サービス (12.9%)	自動車整備・ 機械修理 (10.2%)	商業 (8.4%)	建設補修 (7.7%)	倉庫 (6.6%)
ガス・熱供給	建設補修 (11.7%)	その他の対事 業所サービス (10.6%)	電力 (9.7%)	商業 (9.1%)	倉庫 (9.0%)

表3.3.3-12 影響の大きな産業比較(自部門を除く)
(報告書P.386)

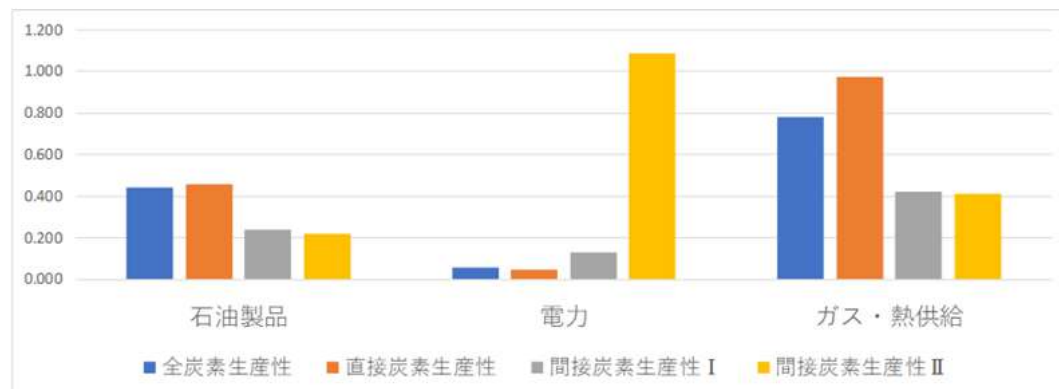
2. 調査の内容・成果

[3] エネルギー転換部門の事業活動がもたらす横浜市経済への波及効果の推計

3EIDは、事業活動の評価における市場価値と環境価値を同時に示す指標である(例:t-CO₂/生産額100万円)。ここで、分母と分子を入れ替えて、二酸化炭素排出量1単位当たりの市場価値(生産額)の創出という意味を持つ『**炭素生産性**』という指標を提案し、横浜市経済への影響を図る指標とすることを試みた(例:生産額/t-CO₂)。

- ・全炭素生産性＝経済波及効果の大きさ(生産額)÷波及効果全体に対応した二酸化炭素排出量
- ・直接炭素生産性＝直接効果の大きさ(生産額)÷直接効果における二酸化炭素排出量
- ・間接炭素生産性Ⅰ＝間接効果の大きさ(生産額)÷間接効果に係わる二酸化炭素排出量
- ・間接効果生産性Ⅱ＝間接効果の大きさから自部門への跳ね返りを除いた大きさ(生産額)÷間接効果(自部門への跳ね返りを除く)に対応した二酸化炭素排出量

	全炭素生産性	直接炭素生産性	間接炭素生産性Ⅰ	間接炭素生産性Ⅱ
石油製品	0.441	0.460	0.240	0.217
電力	0.058	0.050	0.129	1.089
ガス・熱供給	0.782	0.971	0.424	0.409



・3業種の全炭素生産性を比較すると、ガス・熱供給が78.2万円/t-CO₂と最も高く、次いで石油製品の44.1万円/t-CO₂となる。一方、電力は5.8万円/t-CO₂と最も小さい。

・経済波及効果においては、直接効果の占める割合が高く、全炭素生産性の大きさは直接炭素生産性の大きさにかなりの部分、依存することになる。

・一方、間接効果に係わる炭素生産性を見ると、石油製品とガス・熱供給では間接炭素生産性のⅠとⅡの差は小さく、かつ共に直接炭素生産性を下回る水準となっている。これに対して、電力の間接炭素生産性のⅡはⅠを大きく上回る。

図3.3.3-23 横浜市エネルギー3業種の炭素生産性の比較(単位:百万円/t-CO₂)(報告書P.388)

2. 調査の内容・成果

[4] 新規事業がもたらす経済効果の推計

横浜市臨海部で想定される新規事業に期待される役割は、今後のカーボンニュートラルの実現に向け本調査事業のテーマである水素の利活用を条件に、横浜市経済の活性化にも寄与することである。本件調査では、上記のうち、揚地水素製造設備を対象とし、その建設・設備投資や運営が横浜市に与える影響（経済波及効果）を分析した。

○既存調査

水素関連プロジェクトが国民経済に与える影響を分析した、次の先駆的な研究を参考にした。

・『政府見通しに基づく大規模水素利用の波及効果の分析』（環太平洋産業連関学会『産業連関』Vol.26 No.1 2018年8月。中野諭・鷺津明由）

建設			運営		
投入項目	参考となる既存産業（10部門）	投資額（億円）	投入項目	参考となる既存産業（10部門）	年間運営量（億円）
ノーホールーフ型タンク	化学機械	43.52	触媒（白金系）消費量	触媒	0.07
有機ハイドライド脱水素化設備	ポンプ及び圧縮機	1.63	A重油	A重油	166.05
	化学機械	248.64	電力	事業用電力	311.49
TAS（水素ガス精製器）	冷凍機・温室調整装置	25.81	固定資産税	間接税	17.92
	化学機械	28.56	保険費用	損害保険	7.68
工事費	電気計測器	97.28	一般管理費	「環式中間物」	12.80
	貫通鋼管	137.08	修繕費	建設補修	41.19
	その他の一般機械器具	15.18	人件費	「環式中間物」	3.84
エンジニアリング費	「土木」（建設IO）	417.34	合計		561.04
プロジェクト運営費	その他の対事業所サービス	89.60	表3.3.3-14 中野・鷺津論文による揚地水素製造設備の投入項目と需要額（報告書P.394）		
現場経費	「港湾・漁港」（建設IO）	34.56			
保険料	損害保険	14.08			
一般管理費	「港湾・漁港」（建設IO）	11.52			
合計		115.20			
合計		1,280.00			

○推計結果

中野・鷺津論文は水素発電100万kWを想定した分析であるため、現在の横浜市内に立地する発電所の発電容量の約50%の350万kWに対応した建設と運営の規模で経済波及効果を推計した。

	生産額(百万円)				付加価値額(百万円)	雇用者数(人)	二酸化炭素排出量(t-CO2)
	直接効果	間接効果		波及効果計			
		一次	二次				
	a	b	c	d=a+b+c	e=d+h	f=d+i	g=d*j
建設効果（1回あたり）	229,636	53,199	29,379	312,215	169,201	36,054	168,088
運営効果（年間あたり）	196,364	145,546	917	342,827	109,451	18,809	2,414,105

表3.3.3-18 推計結果の要約（報告書P.398）

	1位	2位	3位	4位	5位
建設効果（1回あたり）	公共事業	その他の対事業所サービス	商業	住宅賃貸料（帰属家賃）	金融・保険
運営効果（年間あたり）	有機化学工業製品	電力	建設補修	石油製品	その他の対事業所サービス

表3.3.3-19 波及の大きな産業上位5業種（自部門を含む）（報告書P.399）

2. 調査の内容・成果

[4] 新規事業がもたらす経済効果の推計

○明らかとなった課題

課題 1	新規事業の地域への波及効果の大きさは、事業の性格、具体的には揚地水素製造設備の投入構造(投入係数)に大きく依存する。本章では、既存文献のデータを活用して分析を試みたが、投入構造や需要水準については、水素関連の最新の技術開発等を反映したデータを用いて検討する必要がある。
課題 2	本章では、国立環境研究所の3EIDを活用したが、二酸化炭素排出係数は分析を通して一定とした。 新規事業の目的は水素利用の推進により横浜市をはじめとする社会全体の二酸化炭素排出量の削減に寄与することにある。したがって、水素の社会的な活用により横浜市各産業の二酸化炭素排出係数の今後の改善を踏まえたうえで経済波及効果の環境価値評価(二酸化炭素排出量)等を行う必要がある。

再生エネルギー	排出係数 (t-CO ₂ /百万円)
太陽光発電(住宅設置用)	0.00000
太陽光発電(メガソーラー)	0.17700
陸上風力発電	0.09762
着床式洋上風力発電	0.33119
中小水力発電	0.66746
大規模地熱発電	0.14646
バイナリー地熱発電	0.06240
木質バイオ_A級タイプ発電	0.01296
木質バイオ_B級タイプ発電	0.04131
木質バイオ_C級タイプ発電	0.13844
生ごみメタン発電	0.26013
下水メタン発電	0.00000
家畜糞尿メタン発電	2.28873
大都市廃棄物焼却施設発電	0.14947
地方中核都市廃棄物焼却施設発電	0.18239

表3.3.3-21 再生可能エネルギーの二酸化炭素排出係数(報告書P.401)

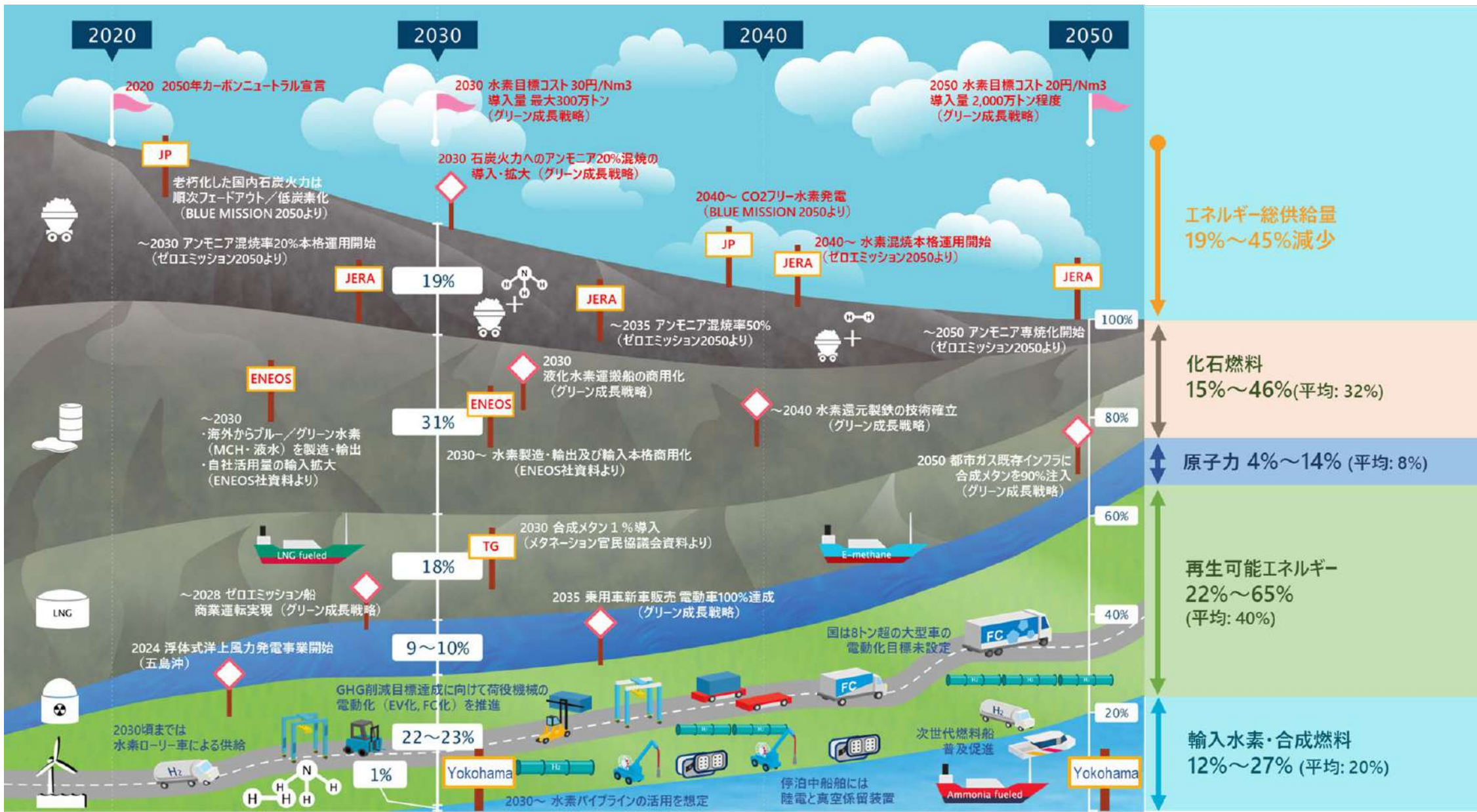
出所: 早稲田大学次世代科学技術経済分析研究所「拡張産業連関表」より作成



- ・産業連関表に再生可能エネルギー及び水素・アンモニア等の次世代エネルギーに関する部門を追加し、
- ・既存産業の電力部門との投入産出関係を明らかにした拡張産業連関表の作成と産業別の二酸化炭素排出係数の推計が必要ではないだろうか。(右表は鷲津氏の研究成果から作成。本調査の電力部門係数20.121t-CO₂/100万円よりも遥かに小さい。) 32

3. 今後の見通しについて

■ 2050年カーボンニュートラルに向けた我が国のエネルギー供給構造の将来推移・大手エネルギー各社の全社目標・横浜港における取組イメージ(報告書P.419)



3. 今後の見通しについて

■ 横浜港におけるカーボンニュートラルポート形成のイメージ (報告書P.420)



3. 今後の見通しについて



2023.5.25 PowerX社-横浜市港湾局連携



2023.3.13 日本-カリフォルニア州 気候サミット登壇



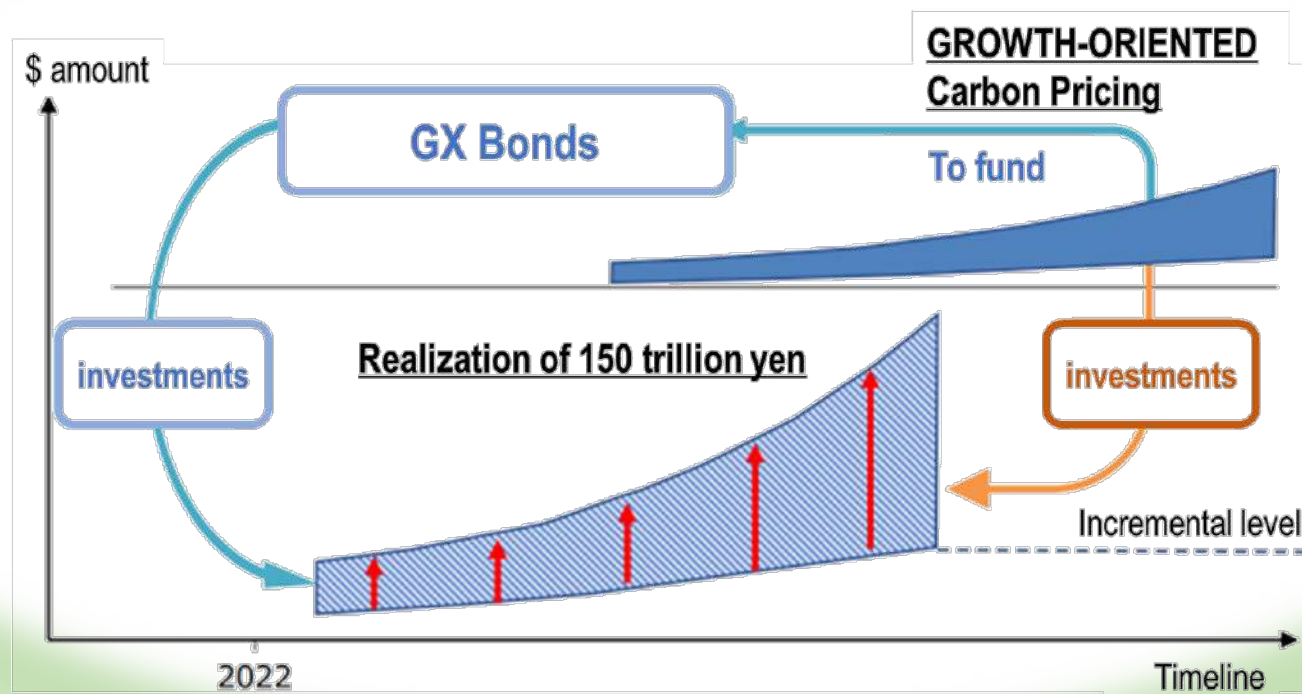
港湾内GHG排出量把握の迫及



横浜港CNP臨海部事業者協議会



2023.5.30 カナダBC州 環境エネルギー大臣来浜@東京ガス



2023.5.25 韓国・蔚山港意見交換



横浜市港湾局内 水素パイプライン勉強会

様々な関係者の皆様との連携や協力のもと横浜港へGX投資を

皆様と共に横浜港におけるカーボンニュートラル
ポートの形成を目指していきたくと考えています。
ご清聴ありがとうございました。

