北陸地域の港湾における水素・アンモニア等の広域連携輸送検討とその活用について

國見　享頼[1]・服部　昌樹[1]・谷澤　来夢[1]

[1]港湾空港部　クルーズ振興・港湾物流企画室（〒９５０－８８０１　新潟市中央区美咲町１－１－１）

2050年カーボンニュートラル実現に向けた取組の一環として注目される水素やアンモニア等の利活用について，その効率的な調達方法をワーキングチームにて検討した結果を報告する．

キーワード　CNP，水素，アンモニア，貯蔵，海上輸送網

1. はじめに

我が国は2050年にカーボンニュートラルを目指すことを2020年10月に宣言し，2021年4月には2030年度に温室効果ガスを2013年度比で46%削減することを目指すと表明した．同年10月には第６次エネルギー基本計画[1)]を策定し，2030年，2050年に向けたエネルギー政策の道筋を示した。このエネルギー基本計画において，水素・アンモニアは新たな資源として位置付けられており，長期的に安価な水素・アンモニアを安定的かつ大量に供給するため，海外からの安価な水素を活用することや，国内の資源を活用した水素製造基盤を確立することがうたわれている．

カーボンニュートラルに向けた2030年，2050年の目標やその先を見据えた大規模な水素・アンモニアの利活用を図るうえで，海外の供給国から背後圏に需要のある個々の港湾に輸送し，貯蔵・活用することは，土地の制約等の条件により貯蔵量が制限されることなどの理由から非効率な輸送となる可能性が高い．水素・アンモニアを効率的に利活用するための方策としては，大量一括輸送がより効果的である．その対応策として，水素・アンモニアを貯蔵できるだけの十分な土地を有する港湾を拠点として，大型船により拠点へ輸送した上で，内航船により他港の貯蔵施設へ二次輸送を行うことが考えられる．つまり，必要な施設等を検討するための水素・アンモニアの需要推計にあたっては，単体港だけでなく，広域的な需要推計に基づく検討が必要になり，都道府県の域を超えた広域連携輸送の検討が必要となる．

このような背景から北陸地方整備局では管内の港湾の将来的な水素・アンモニア等の効率的な海上輸送ネットワークの構築を目指して，2022年度に「北陸地域におけるCNP広域連携輸送検討ワーキングチーム（以下，WT）」を立ち上げた．次章では，本WTの概要及び成果について説明する．

2. 北陸地域におけるCNP広域連携輸送検討WT

CNP（カーボンニュートラルポート）は，国際物流の結節点・産業拠点となる港湾において、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化や、水素・アンモニア等の受入環境の整備等を図ることを目指す取組である．現在，CNP形成の実現に向けて，各港湾において港湾脱炭素化推進計画の作成が進められている．

1つの港では取り組むことが難しい共通課題に対応するため，国（北陸地方整備局）が主導し，民間事業者や行政関係者で構成する「CNP広域連携輸送WT」及び「CNP新技術等活用検討WT」を立ち上げ，北陸地域の環境特性等を踏まえた固有課題について議論を行うこととした．「CNP広域連携輸送WT」は主に広域的な観点からの需要や海上輸送ネットワーク等の検討を目的とし，「CNP新技術等活用検討WT」は主に新技術等に関しての実証，導入拡大に向けたプラットフォーム等の構築を目的とし，それぞれのWTと港湾管理者等が連携，情報共有できる体制を構築した．（**図-1**）

CNP広域連携輸送WTは2022年8月から2023年3月にかけて計5回開催され，2023年3月29日に今後の取組方針についてのとりまとめを公表した．

とりまとめでは，広域連携輸送の最適範囲とネットワークモデルの構築を基本的な方向性として定め，課題解決へ向けて次の事項を考慮することとした。

①　時間軸を踏まえた課題と対応の方向

② 段階的な需要変化を含む広域的な潜在需要
③ 広域連携輸送を前提とした必要となる施設や用地のスペック・規模

①については，脱炭素社会は技術的・経済的制約等により段階的に実現されると考えられることから，時間や需要量に応じて，段階的に次世代エネルギーへ移行するシナリオを基に課題と対応の検討を進めるとした．

②については，①を踏まえ，北陸管内の広域的な水素・アンモニア等の潜在需要試算にあたり，火力発電における水素やアンモニアの混焼率等についての前提条件を設定し，需要量試算の精査を進めるとした．

③については，必要となる港湾施設のスペック，関連施設の規模等の検討を進めるとした．

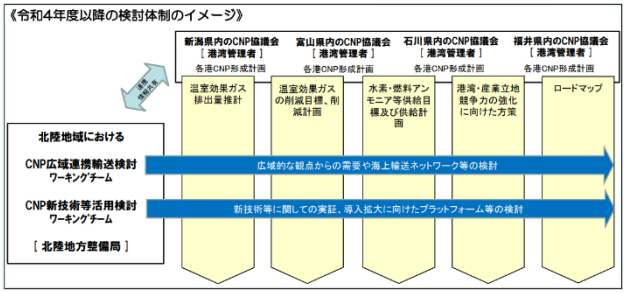

図-1 WTの検討体制のイメージ

以上を踏まえ，図-2のように海上輸送費と貯蔵費の合計が最小となるネットワークを最適な輸送網と定義して算定し，CNP広域連携輸送ネットワークモデルのポイントや課題をとりまとめることとした．

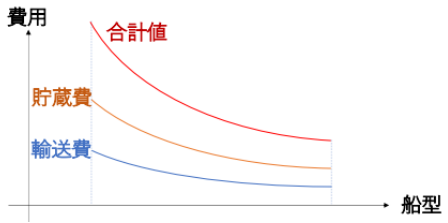

図-2 海上輸送費と貯蔵費の合計が最小となるイメージ

この方向性をもとに，2023年度は計3回のWTでの議論を踏まえて，輸送コスト等の算定結果をとりまとめ，その成果を誰でも利用することができるように「CNP需要等算定シート」という形で北陸地方整備局港湾空港部のHP[2]に公開した．

次に，CNP需要等算定シートについて詳述する．CNP需要等算定シートは，「需要」，「供給」，「輸送・貯蔵」，「海上輸送網」のそれぞれについて，任意の値を入力することによって，最適な輸送網を算定することができるというものである．以下，それぞれの項目について述べる．

(1) 需要

需要については，2023年3月に公表された港湾脱炭素化推進計画の作成マニュアルの内容を踏まえて，石炭火力等によるアンモニア利用，LNG火力等による水素利用，都市ガスのCNメタン化，セメント産業のFC化，輸送車両のFC化，ターミナル内（荷役機械・タグボート等）のFC化，停泊中船舶への陸上電力供給のそれぞれを考慮し，北陸地方整備局管内の港湾（新潟港，直江津港，伏木富山港，七尾港，金沢港，敦賀港，以下北陸管内港湾）の水素・アンモニアの潜在需要量を算定した．算定の結果，水素はLNG火力等による需要が最多，アンモニアは石炭火力等による需要が最多となった．（図-3）

また，水素はLNG火力発電所が背後にある新潟港，直江津港で需要量が多く，アンモニアは石炭火力発電所が背後にある敦賀港，七尾港，伏木富山港で需要量が多いという結果となった．

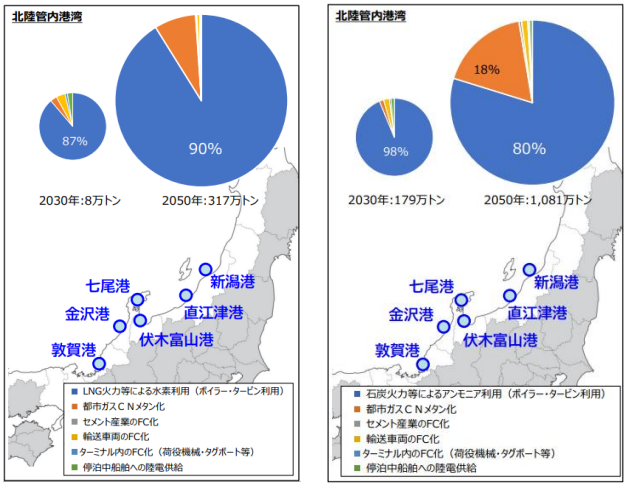

図-3 広域的な潜在需要量（左：水素，右：アンモニア）

(2) 供給

現時点で我が国は将来的にはオーストラリアで生産される水素の輸入を目指しているが，ここでは供給国として，我が国やアジアに輸出意向がある国を広く対象とし，オーストラリア，アメリカ，カナダ，チリ，オマーン，ナミビアの6カ国を想定した．供給方法については，下記の４シナリオを想定した．

・シナリオ１：供給の可能性のある供給国から等分して水素・アンモニア供給を受ける場合（リスク分散重視）
・シナリオ２：最も供給コストが安い供給国からのみ水素・アンモニア供給を受ける場合（コスト重視）
・シナリオ３：供給コストが安い供給国に比重を置きつつ複数の供給国から水素・アンモニア供給を受ける場合
・シナリオ４：海上輸送距離の比から調達割合を案分して供給割合を設定した場合

それぞれのシナリオに対して，各国の水素・アンモニアの輸出開始想定時期を参考に，実証期（～2029年），2030年，移行期（2031年～2049年），2050年という4つの段階を設け，シナリオ毎に北陸管内港湾への水素・アンモニアの供給量を段階別に算定した．例として，シナリオ４の水素及びアンモニアの算定結果を図-4に示す．

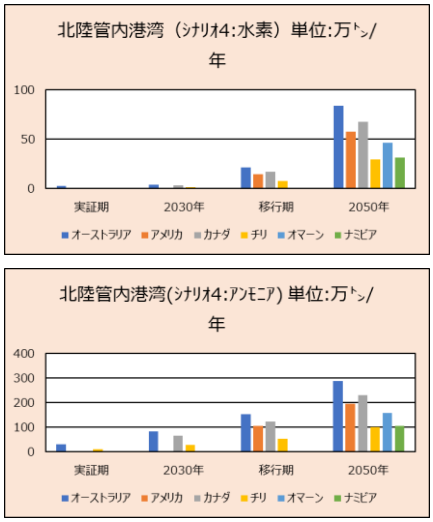

図-4　北陸管内港湾への供給量（上：水素，下：アンモニア）

(3) 輸送・貯蔵

輸送方式については，需要地の港湾へ直接輸送する直送方式と，大量一括輸送を前提としてその後二次輸送で需要地に輸送する拠点方式の２つとし，必要な施設や用地のスペック・規模の検討を段階別に行った．

需要量に合わせた備蓄タンクの必要基数を算定した上で，タンク1基あたりに必要な面積を算定し，それらを掛け合わせることで，備蓄タンクの整備に必要な用地面積を算定した．算定式は次のとおりである．

備蓄タンクの整備に必要な用地面積
＝　備蓄タンク必要基数（※１）×タンク間の空地の幅を踏まえたタンク1基あたりの専有面積

※１：水素・アンモニア年間需要量÷１２か月×需要ピーク時の係数（季節性）÷タンク容量

この算定式を用いて，段階別および輸送方式別に北陸管内港湾において備蓄タンクの整備に必要となる用地面積を算定した．

なお，拠点方式において必要となるタンク基数は北陸管内港湾全体の需要の受け入れが可能な規模を想定した．

拠点となりうる港については，係留場所及び利用可能な背後用地を想定して選定した．その結果，新潟港のみが水素・アンモニアともに拠点としての機能を有する結果となった．（図-5）

図-5　新潟港における受入施設設置イメージ

新潟港以外の港湾は，水素の備蓄にかかる必要面積の用地確保ができず，アンモニアのみ拠点としての機能を有するという結果となった．

以上を踏まえて，需要量，供給国，輸送距離，備蓄タンク基数等から，直送方式及び拠点方式の海上輸送費と貯蔵費を算出し，海上輸送費と貯蔵費の合計が最小となるネットワークを最適な輸送網として評価した．評価方法は次のとおりである．

①供給シナリオ毎に，直送方式と拠点方式の合計費用を比較し，輸送方式に関する評価を行う．
②各供給シナリオにおける2050年の合計費用が最も安価なケースを最適な輸送網として評価する．

なお，アンモニアは需要量が多い港が敦賀港，七尾港，伏木富山港に分散しており，拠点港を１港とした場合，非効率な海上二次輸送が生じる可能性があることや，拠点港の貯蔵費用の負担が大きくなることから，アンモニアの場合のみ，拠点方式（敦賀港及び七尾港での２港揚げ）についても検討した．

(4) 算定結果

算定結果は以下のとおりとなった．（表-1）

a) 水素

全ての供給シナリオにおいて，どの段階においても，拠点方式の輸送網が優位となり，特に需要量の多い新潟港を拠点とした場合が最適な輸送方式となった．また，2050年の合計費用が最も安価となったシナリオ２の拠点方式を最適な輸送網として評価した．

b) アンモニア

全ての供給シナリオにおいて，どの段階においても，より効率的な輸送を図った敦賀港と七尾港の２港揚げのケースが最適な輸送方式となった．また，2050年の合計費用が最も安価となったシナリオ２の拠点方式（２港揚げ）を最適な輸送網として評価した．

表-1 最適な輸送網の算定結果（上：水素，下：アンモニア）

水素：2050年			海上輸送費用（30年分）	貯蔵費用（使用期間30年）	合計（トータルコスト考慮）	評価（最適な輸送網の順）
調達シナリオ1	直送方式		10,031	686	10,717	8
	拠点方式	新潟港	7,804	970	8,774	6
調達シナリオ2	直送方式		5,491	686	6,177	2
	拠点方式	新潟港	4,848	970	5,818	1
調達シナリオ3	直送方式		7,127	686	7,813	4
	拠点方式	新潟港	5,784	970	6,754	3
調達シナリオ4	直送方式		8,685	686	9,371	7
	拠点方式	新潟港	6,849	970	7,819	5

アンモニア：2050年			海上輸送費用（30年分）	貯蔵費用（使用期間30年）	合計（ライフサイクルコスト考慮）	評価（最適な輸送網の順）
調達シナリオ1	直送方式		4,471	883	5,353	17
	拠点方式	伏木富山港	4,165	1,462	5,626	20
		七尾港	4,124	1,365	5,489	18
		敦賀港	4,163	1,365	5,527	19
		2港揚げ	4,143	978	5,121	16
調達シナリオ2	直送方式		2,411	883	3,294	2
	拠点方式	伏木富山港	2,354	1,462	3,815	5
		七尾港	2,312	1,365	3,676	4
		敦賀港	2,284	1,365	3,648	3
		2港揚げ	2,264	978	3,242	1
調達シナリオ3	直送方式		3,153	883	4,035	7
	拠点方式	伏木富山港	3,006	1,462	4,467	10
		七尾港	2,964	1,365	4,329	9
		敦賀港	2,960	1,365	4,325	8
		2港揚げ	2,941	978	3,919	6
調達シナリオ4	直送方式		3,871	883	4,754	12
	拠点方式	伏木富山港	3,630	1,462	5,092	15
		七尾港	3,588	1,365	4,953	13
		敦賀港	3,630	1,365	4,995	14
		2港揚げ	3,611	978	4,589	11

(5) まとめ・考察

以上を踏まえ，「需要」，「供給」，「輸送・貯蔵」，「海上輸送網」の各項目について，次のようなまとめと考察が得られた．

a) 需要

①発電分野における需要割合が大きく，大規模なLNG火力を背後に有する新潟港、直江津港では水素需要が大きく，石炭火力を背後に有する敦賀港，七尾港，伏木富山港ではアンモニア需要が大きい．

②発電分野の需要は，今後の混焼技術動向と発電所への導入時期によって変化する点に留意が必要と考える．

③水素需要について，今回は液化水素による調達を検討したが，アンモニアからのクラッキングによる脱水素としての調達も想定される．国際的にはアンモニアクラッキングでの水素調達が一般的であるため，液化水素とクラッキング水素を区分した検討も必要と考える．なお，アンモニアは，エネルギー密度が高く，輸送・貯蔵面で優位と考えられる一方で，経済産業省資源エネルギー庁の資料によると，アンモニアの脱水素化ではアンモニア輸送量の20%程度の水素しか得られないことから，水素キャリアの優位性比較は現時点では難しい状況にある．

④今回は，あくまで臨海部における次世代エネルギーの燃料利用としての需要を試算していることから，今後，製品の製造利用等，背後産業に関する需要についても考慮する必要があると考える．

⑤実態を踏まえると，港湾内の需要量だけでなく，港の無い隣接県の需要を考慮する必要があると考える．

b) 供給

①各国別の供給量は，水素・アンモニアの輸出に係る取組を行っている国を対象とし，需要にあわせた供給が可能という仮定の基で試算しており，供給国の製造能力・輸出可能量の確認までは行っていない．

②実際には，個別プロジェクトや需要家，サプライヤー，必要とする水素・アンモニアの種類（ブルー、グリーン等）によっても供給国は変わることから，今後，上記のような実態を踏まえた検討も必要と考える．

③同様に，今回の供給コスト（海上輸送コスト）の試算結果は，海上輸送距離を参考に単純比較したものであることから，実際の比較においては個別プロジェクトの実情の調査が必要と考える．

c) 輸送・貯蔵

①需要に対する備蓄タンク配置に必要となる面積は，アンモニアの方がエネルギー密度が高く優位となる結果となった．

②今回の貯蔵費は備蓄タンクの整備費の算定式からのみの算定となっているため，今後，タンク以外の関連施設（アンモニア受入設備・気化設備・煙道吹込設備・制御設備・付帯設備等）についても考慮した，受入拠点全体としてのコスト比較も実施する必要があると考える．

③また，低温タンク維持のための電気等のユーティリティや保守人員の労務費、修繕費や税保険等も考慮した検討が必要と考える．

④実際に備蓄タンクを運用する場合は，実際の船の運航パターンを考慮し，船に若干の遅延があっても在庫がショートしないレベルで管理すべきと考える．

⑤アンモニアタンクは，腐食対策のため10年に1回程度の自主的な開放点検が必要であり，開放点検時の運用を考えると，実際には1基余分に設置することが必要と考える．

d) 海上輸送網

①海上輸送方式は，備蓄タンクの使用期間30年のトータルコストを考慮すると，拠点方式の方が直送方式より輸送貯蔵コストで優位となった．海上輸送費用は，海上輸送距離に比例することから，オーストラリアからの供給量が多いシナリオ２と３が優位となった．

②水素よりアンモニアのコスト差が小さくなる結果は，それぞれの密度（水素：0.071t/m3、アンモニア：0.682t/m3）の影響から水素の輸送回数がアンモニアよりも多いことが要因となっている．

③各港の船型は，既存の港湾施設能力を踏まえ設定していることから，今後，大型船舶を受入可能な施設が整備された場合には，輸送効率化により海上輸送費が減少することが見込まれる．同様に，今後，技術開発によって，大型船舶もしくは輸送効率の良い船舶が出た場合には，海上輸送費用が減少することが見込まれ，2050年になるほど拠点方式のコストメリットが小さくなるという算定結果が解消されることが見込まれる．

④費用に関しては，備蓄タンクの使用期間を30年と仮定

し，一律で設定しているが，実際はタンクメーカー，貯蔵する燃料，タンクの規模等によって，使用期間が異なる可能性があることを考慮する必要があると考える．

⑤また，今回は維持管理費用を考慮していないことから，維持管理費用に関する情報が明らかになった場合には，今後はライフサイクルコストも考慮した検討を行う必要があると考える．

⑥需要と同様，水素需要を液化水素による調達で検討しているが，国際的にはアンモニアクラッキングでの水素調達が一般的であるため，液化水素とクラッキング水素を区分した検討も必要と考える．

以上より，本試算においては，多くの仮定をおいていることも事実ではあるが，CNP需要等算定シートとして，「需要」，「供給」，「輸送・貯蔵」，「海上輸送網」のそれぞれを考慮することによって，最適な輸送網を評価できることを示せたことは大きな成果であると考える．

考察にあるように，今後の技術進展によって水素・アンモニアの調達方法にはさまざまな例が考えられる．例えば，今回は，水素調達については，液化水素による調達しか考慮していないが，よりエネルギー密度が高く，水素よりも輸送・貯蔵に適しているアンモニアの状態で国内へ輸送し，アンモニアクラッキングによって水素を調達することも考えられる．そのように将来的に主流となりうる調達方法をCNP需要等算定シートにおいて考慮できるようにすることは今後の課題といえる．

3. 今後の展望

ここまで，WTにおけるCNP需要等算定シートの構築について述べてきた．CNP需要等算定シートは，北陸地方整備局港湾空港部のHP[2]において公開しており，誰でもExcel形式でダウンロードすることが可能である．このCNP需要等算定シートをどのような主体がどのように活用するのかということを今後検討していく必要がある．

今回は都道府県の枠を超えた北陸管内港湾の広域連携輸送を検討したが，例えば，各地方整備局等（北海道，東北，関東，中部，近畿，中国，四国，九州，沖縄）間の広域連携輸送の検討も考えられる．地域間で連携輸送を行うためには，北陸以外の各地方整備局等においてもCNP需要等算定シートを活用してもらい，まずは管内において推計をしてもらうことが肝要である．推計を進める中で，各管内の港湾が持つ特徴について，水素・アンモニアの輸送・貯蔵という観点から評価を行うことが可能となる．それらの特徴をデータとして把握することができれば，地方の枠をも超えた広域連携輸送の検討が可能になる．その実現のため，まずは，各地方整備局において，CNP需要等算定シートを活用してもらうべく，積極的な働きかけを行うことが重要である．また，国に限らず，港湾管理者にも活用してもらうことができれば，地方港湾等を含め，各都道府県の実情を踏まえた，より緻密な推計が可能になることも考えられる．また，企業にも活用してもらうことで，「需要」，「供給」，「輸送・貯蔵」，「海上輸送網」のそれぞれについて，各企業が持つ強みを将来の水素・アンモニア供給や利活用に生かせるということを企業自らが気づくきっかけともなりうる．

以上のように，さまざまな主体に活用してもらうことにより，水素・アンモニアの利活用へ向けた広域連携輸送について，より複合的かつ実態に即した推計が可能になることが示唆される．

このようにして，より精緻に推計を行うことができるようになれば，将来的には，例えば，推計結果を港湾脱炭素化推進計画に反映させることにより，より具体性を伴った推進計画にブラッシュアップさせることが可能である．また，さらには，推計結果を水素・アンモニアの貯蔵タンク設置等を踏まえた港湾計画の改訂にも役立てることが可能である．より具体性のある計画の策定に役立てていくことにより，2050年カーボンニュートラルがより実現性の高いものになると考える．

4. まとめ

本稿では，2022年度に国（北陸地方整備局）が主導して立ち上げた「北陸地域におけるCNP広域連携輸送検討ワーキングチーム」の取組と，水素やアンモニア等の効率的な調達方法を検討し得られた成果について報告した．

水素・アンモニアの広域連携輸送について，「需要」，「供給」，「輸送・貯蔵」，「海上輸送網」という観点から最適な輸送網を算定し評価できることを明らかにし，また，その成果をCNP需要等算定シートとして広く一般に活用してもらえる形でHP[2]に公開した．

今後，今回の成果を通して広域連携輸送の考え方を広く全国に浸透させるとともに，アンモニアクラッキング等の水素調達に関する新技術等をCNP需要等算定シートに反映させるなど，より正確な推計が可能となるように引き続き取組を進めていきたい．

参考文献

1) 資源エネルギー庁：エネルギー基本計画の概要，2021
https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf
2)北陸地方整備局港湾空港部：北陸地域におけるカーボンニュートラルポート（CNP）ワーキングチーム
https://www.pa.hrr.mlit.go.jp/kouwanshinkou/cnp/wt/