

取引コスト理論から見たアンモニア市場の立ち上がり

社会システムコンサルティング部 コンサルタント

中島 雄仁

ヘルスケア・サービス産業コンサルティング部 シニアコンサルタント 勝 雄太郎

1 はじめに

カーボンニュートラルの実現に向けたエネルギーシステムの転換は、国際的な重要課題として認識されている。その中で近年、水素キャリアの一つであり、燃焼時に CO₂ を排出しない燃料としてアンモニアの活用が注目されている。政府も第7次エネルギー基本計画の中で、その社会実装を国家戦略の一環として掲げており、現在の国内アンモニア消費量が年間約 100 万トン程度であるのに対し、2030 年までに燃料用途のみで新たに年間 300 万トン程度を導入し、さらにアンモニアを含んだ水素供給量全体では 50 年に年間 2,000 万トン規模を目指すといった、意欲的な目標を設定している。

しかしながら、アンモニアがエネルギー供給の主要な役割を持続的に担うためには、技術開発の進展に加え、経済合理性のある国際的なバリューチェーンおよびサプライチェーンの構築が前提となる。将来の主要なアンモニア利用国の一つと目される日本にとって、この新しいエネルギー市場の形成期における戦略は、エネルギー安全保障と産業競争力に中長期的な影響を与える。

本稿は、アンモニアのバリューチェーン・サプライチェーン構築というテーマに対し、特に「エネルギー市場形成の原理」に着目しながら日本政府・企業の取るべき戦略を論じる。エネルギーキャリアとしてのアンモニアの状況を整理し、次にエネルギー市場の発展過程で見られる「垂直統合」から「市場の流動化」へという構造変化のパターンを、液化天然ガス (LNG) 市場の事例を参照しつつ分析する。

この分析を踏まえ、日本が需要家としての立場をどのように生かし、国益に沿った透明性の高い市場形成に貢献できるか、その具体的な方向性について考察する。

2 エネルギーキャリアとしてのアンモニア：国内製造の壁と国外調達への必然性

カーボンニュートラル実現に向けた動きが加速する中、日本国内におけるクリーンな水素エネルギーの供給システム構築は喫緊の課題である。しかしながら、現時点において国内での水素供給はコスト競争力の面で大きな壁に直面している。再生可能エネルギーの賦存量は限られており、発電コストが依然として高い。また、化石燃料由来の水素製造時に排出される CO₂ を回収・貯留する CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) の社会実装コストも課題となるなど、国内で経済合理性のある大規模なクリーン水素供給体制を早期に構築することは容易ではない。

国内製造のコスト面による制約を踏まえると、必要とされる水素エネルギーの多くを、資源価格や再生エネルギーポテンシャルの高い国外に求めることは、当面、不可避といえる。国外から水素を調達する際には、エネルギーキャリアへの転換が必須となり、その主要な選択肢として、液化水素、メチルシクロヘキサン (MCH) のような有機ヒドライド、そしてアンモニアなどが比較検討される。液化水素は高純度な水素を直接運べる利点があるものの、極低温

図表 1 水素キャリアの比較

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性無
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可(石炭火力混焼等)	可(都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要	必要(脱水素時)		
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在: -32%
既存インフラ活用、活用可否	国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可	可(ケミカルタンカー等)	可(ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO2供給が不可欠

出所) 経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室「水素社会実現に向けた社会実装モデルについて」2021年8月

(-253℃)での管理が必要で、特殊な輸送船や貯蔵設備が求められ、エネルギー損失やコストが課題となる。MCHなどの有機ハイドライドは、常温常圧での貯蔵・輸送が可能で既存の石油インフラを一部活用できる利点があるが、脱水素プロセスで再度エネルギーを要し、触媒の取り扱いなども考慮が必要である。

こうした中でアンモニアは、他の水素キャリアと比較して複数の観点から比較優位性を持つ。まず、体積当たりの水素密度が比較的高く、-33℃で液化するため、液化水素よりもハンドリングが容易であり、長距離・大量輸送に適しているとされる。既存の化学品輸送インフラや知見を応用できる点もメリットである。さらに特筆すべきは、アンモニアが必ずしも水素に戻すことなく、そのまま燃料として直接利用できる点である。例えば、石炭火力発電における混焼燃料や、将来的な専焼燃料、さらには船舶用燃料としての活用が期待されており、この直接利用のパスウエーは、クラッキング工程を省略できるため、エネルギー効率の向上とコスト低減に大きく寄与する可能性がある。

以上を総括すると、アンモニアは他の水素キャリアと比較して、特に国外からの大量調達と国内での多様な利用形態において、現実的かつ経済合理性のある選択肢として際立っていると筆者らは考える。

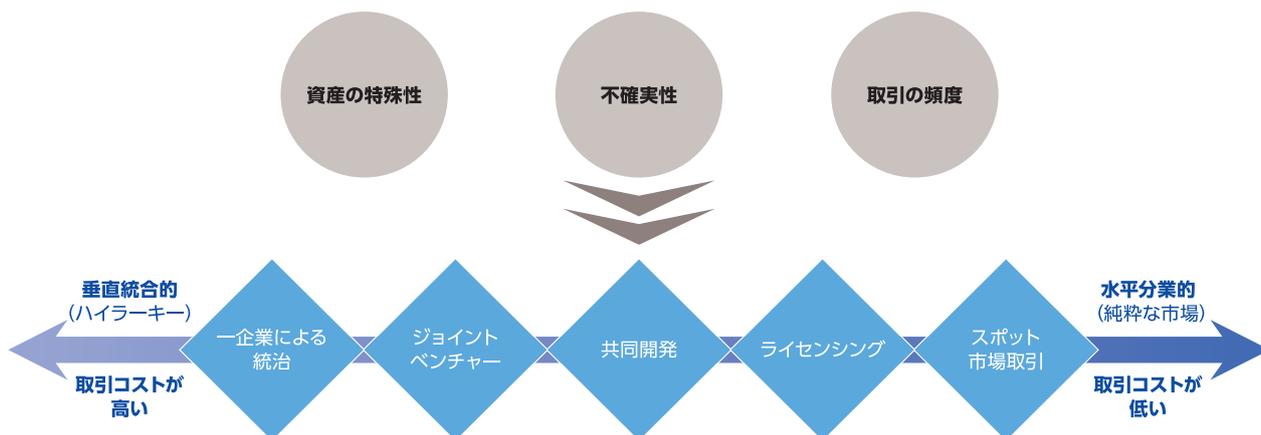
しかし、その製造を国内で大規模に行うことの経済的合理性は現時点では見だしにくい。少なくとも再エネコストが高い当面の間は、日本がアンモニアを確保する上で、国際市場における「需要家」としての立場を強く意識せざるを得ないことを意味する。

3 エネルギー市場形成の原理

3章からはアンモニアのような新エネルギーがどのようにして社会に浸透するか検討する。歴史をひもとけば、石油やLNGのように、大規模な初期投資と専用インフラを必要とするエネルギー産業では、バリューチェーンの川上から川下までを一つの企業グループが包括的に手掛ける「垂直統合」という形態がしばしば見られた。この現象を「取引コスト理論(Transaction Cost Economics: 以下、TCE)」の視点から読み解き、なぜ黎明(れいめい)期のエネルギー市場において垂直統合が合理的であるのかを確認する。

TCEの基本的な考え方は、企業が経済活動を行う際、製品やサービスの生産コストだけでなく、市場での取引そのものにもさまざまなコスト、つまり取引コスト(情報収集、交渉、契約締結、履行監視など)が発生するというものである。企業は、生産コスト

図表 2 TCE の 3 要件と取引ガバナンスの関係



出所) 入山章栄『世界標準の経営理論』より NRI 作成

と「取引コスト」の総和を最小化するように、事業活動を市場での外部調達に委ねるか（市場メカニズムの利用）、あるいは自社組織の内部に取り込むか（内部化、すなわち階層＝垂直統合）を決定するとされる。

とりわけ、新エネルギーの市場黎明期においてはこうした垂直統合の市場が形成される傾向にある。こうした現象は TCE の主要な概念である「資産の特殊性」「不確実性」「取引の頻度」に着目すると読み解ける。

第一に「資産の特殊性」である。これは、特定の取引のために専用化された投資（例えば、特定のガス田に対応した液化プラント、アンモニア専用の輸送船や貯蔵タンクなど）が、他の目的への転用が難しく、その価値を失ってしまうリスクを指す。黎明期のエネルギー市場では、こうした専用投資が不可欠となる場合が多い。そこで一度投資を行ってしまうと、その投資が無駄にならないよう、買い手や売り手は相手方に「ロックイン」されやすくなる。このような状況下で、もし相手方が機会主義的な行動（例えば、不当な価格変更や契約不履行など）に出た場合、専用投資を行った側は大きな損失を被る可能性がある。市場でのスポット的な取引では、こうしたリスクを十分にカバーできないため、企業は長期契約や、より確実な垂直統合によって、専用資産

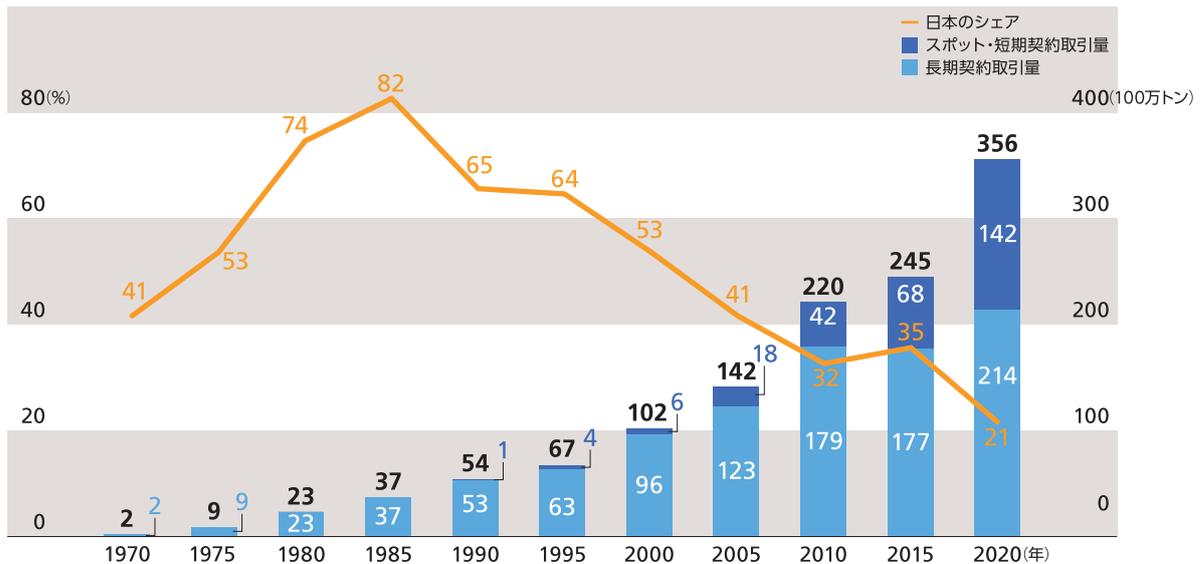
の価値を保全しようとする。

第二に「不確実性」の高さである。新規エネルギー市場の初期は、技術の成否、将来の需要規模、政府の政策変更、競合技術の出現など、あらゆる面で不確実性が高い。不確実性が高いほど、契約締結後の予期せぬ事態への対応や再交渉のコストが増大する。垂直統合や長期オフテイク契約では、こうした外部環境の不確実性の影響を組織内部で吸収し、柔軟かつ迅速な意思決定を可能にすることで、市場取引に伴う不確実性コストを低減する効果が期待できる。

第三に「取引頻度」の低さである。市場が未成熟な黎明期においては、取引相手の数も限られ、取引量も少ないため、一つ一つの取引が持つ重要性が相対的に高くなる。頻度が低い取引では、固定的な契約コスト（情報収集や交渉にかかる初期費用など）の負担が重くのしかかる。垂直統合は、こうした頻度の低い取引を内部化することで、市場での探索コストや交渉コストを削減し、安定的な供給・調達を確保する手段となり得る。

これらの要因、すなわち高い資産の特殊性、高い不確実性、そして低い取引頻度は、黎明期のエネルギー市場における取引コストを著しく増大させる。その結果、安定した供給先を確約してほしい供給サイドと、安定供給を実現したい需要サイドの利害が

図表3 世界のLNG市場における取引量と日本のシェア



出所) GIIGNL、JOGMEC ウェブサイト「LNG 事業概説」1977/06/20 [1977年06月号]、経済産業省「エネルギー白書」、税関「貿易統計」よりNRI作成

一致し、資本的あるいは排他的取引契約に基づく垂直統合型の市場が形成されるものである。

しかし理論上、垂直統合市場は供給側と需要家側の参入によって緩やかに崩壊していく。競争が技術を標準化し、市場参加者と取引量を増やし、不確実性を低下させ、垂直統合が内包していた非効率性を顕在化し、市場メカニズムの導入を合理化する。今日の石油、LNGも垂直構造は崩壊した構造にあり、エネルギー市場における必然と見てよいのではないだろうか。エネルギー市場において大抵「需要家」である日本にとっては垂直構造が崩壊した姿が、調達コスト上で恩恵を及ぼしていた。

4 LNG市場における「需要家」としての日本の取り組み

前章で見たTCEの観点に基づくアンモニアにおける市場の立ち上がり方を検討するに当たっては、LNG市場の変遷をベンチマークすることが適していると筆者らは考える。LNGとアンモニアには共通項が多く存在すると考える。LNGにおいて日本は主要な需要家として市場を切り開いてきた背景があり、アンモニアも同様に日本が主要な需要家とし

て市場に参画していく姿が想定される。

本章では、TCEをLNGに適用し、長らく世界最大のLNG輸入国として市場と深く関わってきた日本の経験を分析する。このLNG市場における日本の歩みは、将来のアンモニア市場形成と、そこでの日本の最適な立ち回り方を構想する上で、貴重な示唆を与えてくれるだろう。

1) LNG「需要家」として市場を切り開いた日本

1969年のLNG輸入開始以来、日本は世界のLNG市場の成長を先導し、数十年にわたり世界最大の消費国であった。この「需要家」としての地位は、新規プロジェクトの成立を後押しした一方で、日本を特有の課題に直面させた。初期のLNG取引は日本以外の主要な買い手がおらず、売り手は兆円単位ともいわれる設備投資の確実な投資回収のために買い手にリスクを負うことを求めた。具体的には、20年超の長期契約、原油価格に連動する価格決定方式（石油価格リンク）、そしてTake-or-Pay（買い手が引き取らなくても支払うこと）が一般的であった。これらは売り手の投資回収の確実性を担保することで事業成立に不可欠な銀行の融資を得るためにも必要であった。

TCE に立ちかえてみると、LNG の売り手にとって、買い手がほぼ日本だけの状況で天然ガスの液化装置などは「資産の特殊性」が高く、今後の需給動向などの「不確実性」が高い状況において、市場取引よりも実質的な垂直統合構造（＝超長期オフテーク）を選択したことは自然なことといえるだろう。しかしながら、この市場構造は日本にとっては需給変動への柔軟な対応を困難にし、石油価格高騰リスクを直接的に抱え込む構造であった。特に、欧米市場に比して割高な調達価格となる「アジアプレミアム」は、日本のエネルギーコストと国際競争力における長年の重しとなっていた。

2) 需要家の増加による市場流動化

2000 年代に入ると、アジアの LNG 需要は一気に多極化した。韓国では韓国ガス公社（KOGAS）の輸入量が 1998 年の 1,350 万トンから 2008 年に 2,435 万トンへ約 1.8 倍、台湾・中国も 2010 年代初頭には 1,000 万トン以上の需要家へと成長を遂げた。国際 LNG 輸入者グループ（The International Group of Liquefied Natural Gas Importers ; GIIGNL）の統計によると、アジア全体の輸入量は 2000 年の約 7,200 万トンから 10 年には 1 億 3,300 万トンへと倍増し「買い手＝日本」という構図は崩れた。交渉相手が増えたことで価格と契約条件を相互に比較できる土壌が生まれ、売り手優位だった力学が緩み始めた。

同じころ、1980～90 年代に結ばれた 20 年契約が次々に満了し、償却済みプラントの LNG が「余剰」として市場に流れ込んだ。ちょうどそのタイミングで S&P Global 社が 2009 年に日韓着デスティネーションの価格指標 Platts JKM を公表し、先物取引もほぼ同時期に始まった。直近の取引相場価格を参照しながら売り買いできる仕組みが整った結果、10 年には世界取引 2.2 億トンのうち短期契約・スポット取引が 19% を占め、00 年にはわずか 5% だったスポット比率が一気に 2 桁へ跳ね上がった。

TCE の観点で見ると、長期契約が満了した液化設備は建設費を回収済みのため残存コストが極端に低く、プラントやタンカーといった資産の「特殊性」が薄れた。短期契約・スポット取引の頻度が高まり JKM などの価格指標が示されたことで、市場に蓄積される情報量は桁違いに増え、価格不確実性そのものもデリバティブでヘッジできるようになった。「資産の特殊性」「不確実性」の低下と「取引頻度」の向上が同時に進み、長期契約でリスクを内包する必要性は低下しスポット市場の活性化につながった。

3) シェールガスによるさらなる市場流動化と水平分業のはじまり

スポット市場が活性化したが、アジア地域全体の市場流動性が欧米に比べて低いため、依然として、アジア市場における LNG 価格は、欧米市場と比較して割高な水準で推移する「アジアプレミアム」は解消されていなかった。

そんな中、2000 年代中盤に起こったシェール革命は新しいガス採掘方法の確立以上の変化を LNG 業界にもたらした。最大のポイントは、既存パイプラインから調達したガスを液化して輸送権を顧客に渡す“トール方式”の登場である。これまでガス採掘・液化・輸送とすべてを売り手が担っていたが、それらを分業化し液化だけを担うプレーヤーが出現し始めたのだ。トール方式では投資対象が液化設備だけに絞られるため、これまで必要だった兆円単位の設備投資は半額以下となり、資金回収のハードルが大きく下がった。このモデルではガス調達や販売を顧客側（商社や電力会社など）が担うため、液化事業者はガス価格や販売先の市況変動リスクを負うことはなく、より短期間の契約に基づく事業であっても資金調達をしやすくなった。結果として「20 年超の長期契約で全量オフテークを保証」という従来の大前提は消え、買い手も売り手も柔軟な期間・数量で取引できる環境が整った。こうした市場構造の変

遷の結果として、2010年に19%だったLNGのスポット比率は24年には36%まで上昇した。

つまりTCEの観点に照らすと、保有する資産が液化装置に限定されたことで「資産の特殊性」が急速に薄れた。既に償却済みプラントのLNGがスポット市場を形成したことで「不確実性」が低下し「取引頻度」が高まりつつある市場に、トール方式で投資リスクを抑えて製造されたLNGが流入することで市場流動性はさらに高まり、市場取引型への変貌を大きく後押しした。

筆者らは一概に短期契約・スポット取引の増加を是とするわけではない。他方で、LNGの水平分業化は「資産の特殊性」「不確実性」が生む高い取引コストを、需要国の多様化と技術革新が段階的に切り崩していった歴史であると考ええる。この経験は、次世代エネルギーの一つであるアンモニアが迎える黎明期の政策設計・事業方針を想定する上での価値ある羅針盤となるはずだ。

5 LNGの経験から読み解く将来アンモニア市場と“加速する水平分業化”

それではアンモニアもLNGと同じ轍（てつ）を踏み、徐々に垂直統合型の市場から水平分業へと変貌を遂げるのだろうか。本章ではLNGとアンモニアの違いを検討し、アンモニアがたどるだろう今後の変遷について論じる。なお以降においては、最初に利用が進むと想定されているブルーアンモニア（化石燃料からアンモニア製造時に排出されるCO₂をオフセットする手法）を取り上げる。

筆者らの見立てでは、ブルーアンモニアはLNGの最初のステップをショートカットする可能性が高い。LNGは償却済みプラントからスポット市場が生まれ流動性が高まり、シェールガスとトール方式の台頭によりさらなる水平分業化が進展したという2ステップで現在に至るが、アンモニアははるかに短期間で現在のLNGのような自由市場を獲得する

ポテンシャルがある。

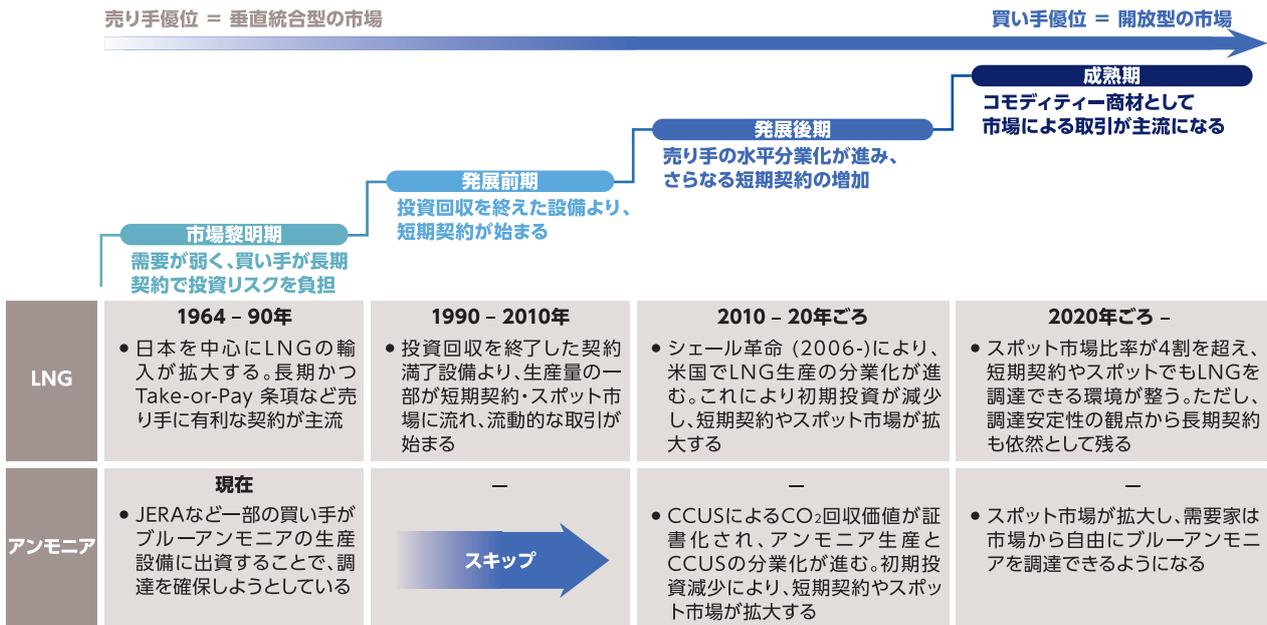
現在、世界のアンモニア生産量は約2億トンと既にLNGの半分近い市場規模（量ベース）を有し、常態的に取引されている。あくまで化石燃料から製造したグレーアンモニアではあるが、製造・輸送・貯蔵の技術、価格指標のベースは最初からある程度整っている。また、日本が需要家として市場を開拓したLNGと異なり、脱炭素化の潮流の中で中国・韓国・欧州などもアンモニアは次世代エネルギー源の一つとして見ており、需要の「不確実性」は既にLNGより低くなっている。

また、LNGの長期契約の大きな要因の一つは特殊性の高い設備の初期投資であったが、ブルーアンモニアは「ブルー化」の手段であるCCUSの取り扱い次第ではこの点もクリアできる可能性がある。

サウジアラムコが2020年に実施した日本向け40トンのブルーアンモニアの試験製造は従来プラント+CCUSという最小限の投資で実現した。産油国は石油増進回収（EOR）などで追加コストを抑えながらCCUSが可能であり、比較的「資産の特殊性」を抑えてブルーアンモニアを製造できる。また、将来的にCCUSによるクレジットが全世界に普及すれば、さらに「資産の特殊性」は低下するだろう。23年に日本でもJOGMEC（独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構）が世界初となる「CCSカーボンクレジットハンドブック」を公開したように、CCUSで回収・貯留したCO₂のクレジット化を進める動きはオーストラリアやカナダでも進みつつある。CCSクレジットを用いた“仮想的ブルー化”はCCUS設備を保有せずとも帳簿上で成立する状況になりつつあり、資本集約度（＝「資産の特殊性」）は一気に低下する。

この構図はLNGの歴史と対照的である。LNGは高価な液化プラントにより初期投資を回収する20年契約が必要となったが、アンモニアは償却済みの設備が既に存在し、その稼働が空いていれば未利用の余力をブルー化して出荷できるため、償却が終

図表4 アンモニアとLNGの水平分業化への変遷



出所) NRI 作成

わったブルーアンモニア専用設備を待つことなくスポット市場の段階をスキップし、いきなり市場取引型のフェーズに入る可能性もある。

TCEの3変数で整理すると、LNGと比較して「資産の特殊性」は既設プラント+CCSクレジットで低下しやすく、既にグレーアンモニア取引は活発なため「取引頻度」は上昇しやすく、「不確実性」も需要家の多さや既にある価格指標のため低くなると想定される。これらを合わせると、LNGに比較してブルーアンモニアは長期契約よりスポット・短期を選ぶインセンティブが初期段階から働く可能性が高い。

6 おわりに“政府と企業に求められること”

前章で見たとおり、将来の燃料アンモニア市場は早期に流動化するポテンシャルを持つ。これは、既存インフラの活用可能性や当初から複数の需要国の参入が見込まれることによる。特に先述のとおり東アジアでは並行して利活用が進むことが予期され、LNGと比較して早くスポット市場が立ち上げる可能性は高いとみられる。

この新たな市場の黎明期において、日本政府には先回りした戦略的な動きが期待される。筆者らは、CCSクレジットの国際標準化の推進による「取引コスト」低減の必要性を提言する。

第一に、環境価値を規定するクレジット制度の国際的なルール形成を主導することである。特に、クレジットの信頼性を左右するMRV(モニタリング・報告・検証)の方法論、「追加性」の定義、そしてライフサイクル評価の「算定境界」といった主要な論点について、国際的な合意形成が求められる。

第二に、適切な海外のパートナー国と組んで技術開発を実施し、その制度設計を具現化することである。政府がJOGMECと推進する「先進的CCS事業」は、まさにその実践の場となるだろう。マレーシアや大洋州での海外貯留を含むこれらのプロジェクトは、単に物理的なインフラを整備するだけではない。これらは、海外パートナーとクレジットの所有権といった制度的課題を詰めるための、官民一体となった具体的な交渉のテーブルでもある。技術開発とルールの具体化を両輪で進めることが、ブルーアンモニアの安定供給に必要な事業環境の整備を加速させる鍵となる。

政府がこうした技術と外交を通じて市場の「土台」を整備することは、企業の多様な調達先の検討を後押しする。企業側も市場が早期に流動化する可能性を考慮しながら短期契約・スポット取引なども組み合わせた柔軟なポートフォリオ戦略が求められる。

新たなエネルギー市場の黎明期において、官民が連携し、アンモニア市場特有の形成原理を見据えた戦略的なアプローチを取ることの重要性は論をまたない。本稿が、政策担当者および企業関係者による今後の戦略策定の一助となれば幸いである。

(監修：西崎 遼)

筆者



中島 雄仁 (なかじま ゆうじん)
株式会社 野村総合研究所
社会システムコンサルティング部
コンサルタント
専門は、スタートアップ支援政策、製造業の海外展開進出支援など
E-mail: y8-nakajima@nri.co.jp



勝 雄太郎 (かつ ゆうたろう)
株式会社 野村総合研究所
ヘルスケア・サービス産業コンサルティング部
シニアコンサルタント
専門は、製造業・ヘルスケア領域における事業戦略、新規事業開発支援など
E-mail: y-katsu@nri.co.jp