

アンモニアの需給および輸入価格の現状について※

- アンモニアのエネルギー利用に関する予備的調査 -

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

計量分析ユニット	担任補佐・研究主幹	平井 晴己
同	主任研究員	呂 正

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

創エネルギー研究部門	主任研究員	高木 英行
安全科学研究部門	グループ長	村田 晃伸

1. はじめに

1.1 アンモニア工業

窒素から導かれるアンモニア、硝酸は爆薬、染料、医薬などを製造する必需品であり、特に、化学肥料には欠かすことのできない原料となっている。19世紀以降、人口増加を支えるために食糧の増産は焦眉の課題であったが、現在においても開発途上国では、化学肥料の生産は最重要項目であることに変わりはない。20世紀に入り、空气中から分離された窒素と、炭化水素等から得られた水素によるアンモニア合成（ハーバー・ボッシュ法）が発明され、近代的なアンモニア（及び尿素）工業が確立し、化学肥料の大量生産への道が開かれた。アンモニアの合成に使用する水素は、炭化水素、とりわけ随伴ガス・天然ガスからの改質から得られ、その量は随伴ガス・天然ガスの世界生産量の約5%前後を占めると言われている。メタノールの製造とともに、合成原料として重要な位置を占めている。

このように、アンモニア工業は、世界中の国々で、化学肥料の生産、さらには農業生産と密接な関係をもつ工業として確立されている。また、アンモニアは、世界の各地域で、日々、アンモニアタンカー（LPGタンカーとの共用が可能）により貿易がおこなわれており、その価格は市場で形成される国際商品として成立している。

1.2 エネルギーキャリアとしてのアンモニアへの利用

わが国では、水素のエネルギー利用を目的として、燃料電池（FC）や燃料電池自動車（FCV）の開発が進み、実用化の段階に入ってきたが、燃料としての水素は、当面、都市ガス改質からの水素や石油精製等の副生水素の利用が考えられている。水素がエネルギーとして本格的に、また大量に利用される時代が到来すれば、供給ポテンシャルが大きく安定的な供給が可能で、さらに、CO₂フリーな水素が求められることになり、再生可能エネルギー起源

※本報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から国立研究開発法人産業技術総合研究所に委託された「水素利用等先導研究開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査研究」（2014年度）の成果の一部を活用し、とりまとめたものである。

の電力を利用した水の電気分解により生産された水素を、海外から日本に輸入することが一つの選択肢として検討されるようになってきている。しかしながら、水素を経済的かつ効率的に大量輸送するには、気体としての水素ではなく、液化水素や有機ハイドライド等の、いわゆる、エネルギーキャリアに変換して輸送するなど、水素の生産から貯蔵・輸送、そして利用に至る、新しいサプライチェーンを大規模に確立する必要が出てきた。

こうした状況下で、アンモニアは、既に国際商品として流通し市場を形成しており、新たなサプライチェーンを構築する必要がないことから、エネルギーキャリアの一つとして注目されるようになってきている。

1.3 本報告書の目的

このように、アンモニアのエネルギー利用については、大きな可能性が期待されるものの、一方で、検討しなければならない課題も多い。なぜなら、現在、アンモニアの大半は化学肥料用として生産されており、エネルギー利用を考えた場合、アンモニアの生産規模は1ケタないし2ケタ大きな数字に膨れ上がる可能性が高く、これまでの化学肥料を中心とした需給バランスから、エネルギーと化学肥料という相異なる2つの製品を統合した需給バランスを考える必要が生じるからである。たとえば、アンモニアのエネルギー利用により、大規模な新市場が出現すると、供給者の生産行動の変化（化学肥料用からエネルギー用へのシフト）が想定され、世界各地の需給バランス（貿易フローを含む）が変化し、アンモニアの生産コストや市場価格の形成メカニズムに大きな影響を与えることが予想される。従って、このようなアンモニア市場の中長期的な構造変化を、包括的かつ定量的に予測するには、需要、供給及び価格の三つの要素を統合した世界モデルを構築して分析する必要が生じる。

本報告書は、こうした定量的な分析を始める前の予備調査（第一段階）と位置づけ、以下の3点を軸に、現状を整理すること（“FACT FINDING”）を目的とした。

- (1) アンモニアの市場構造及び各地域の需給バランス（貿易フロー）
- (2) アンモニアの原料需給及び生産ポテンシャル（日本への輸出余力）
- (3) アンモニアの生産コスト及び市場価格

2. アンモニア需給について

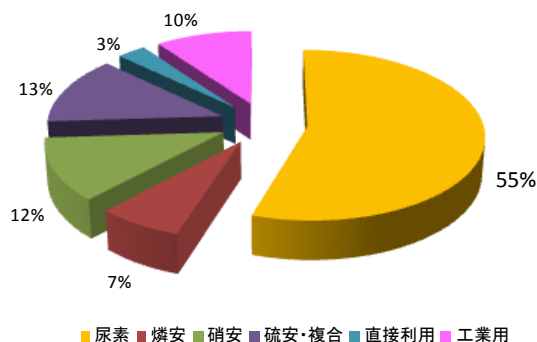
2.1 アンモニアとその用途

図2-1に示すように、世界のアンモニア生産量（2012年）は、1億6,500万トンで、そのうち尿素は約55%、硫安（硫酸アンモニウム）が約13%となるなど、化学肥料向けが全体の約84%を占める。なお、尿素は化学肥料以外に工業向け用途が約8.4%を占める。

アンモニアの生産フローを図2-2で示した。第1段階はアンモニア合成の過程であるが、まず、天然ガスまたは石炭を原料として、水蒸気改質または部分酸化法等により水素を製造する。次に、空気中から分離した窒素と水素から、ハーバー・ボッシュ法によりアンモ

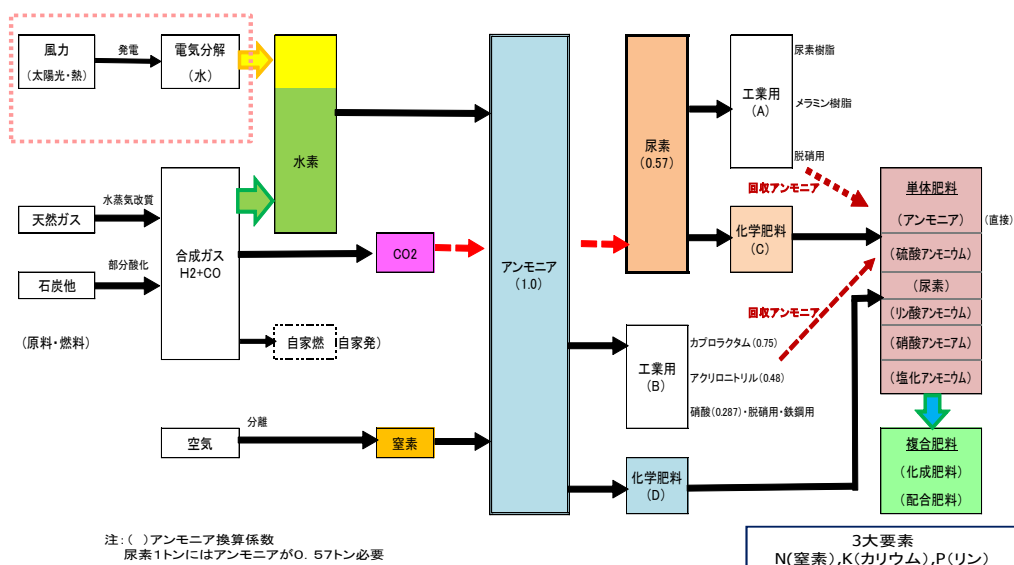
ニアを合成する。第 2 段階では、アンモニアの一部は化学肥料として直接使用されるが、それ以外は、アンモニアを原料として様々な合成が行われる。そのうちの半分は、改質によって副生産された CO を利用して尿素が合成される。それ以外にも、硫安、燐安、硝安、塩安といった様々な化学肥料が製造される。一方、工業用の原料として、アクリロニトリル、カプロラクタム、硝酸の合成に利用される。尿素はその殆どが化学肥料として利用されるが、一部は工業用として尿素樹脂やメラミン樹脂の合成に利用される。化学肥料では、硫安や尿素のように、単体として利用する場合もあるが、これらを混合した複合肥料（化成肥料・配合肥料）を使用するのが一般的である。

図 2-1 アンモニアの用途 (2012 年)



(出所)NEXANT 資料から作成

図 2-2 アンモニアの生産フロー (原料から尿素・化学肥料製造まで)

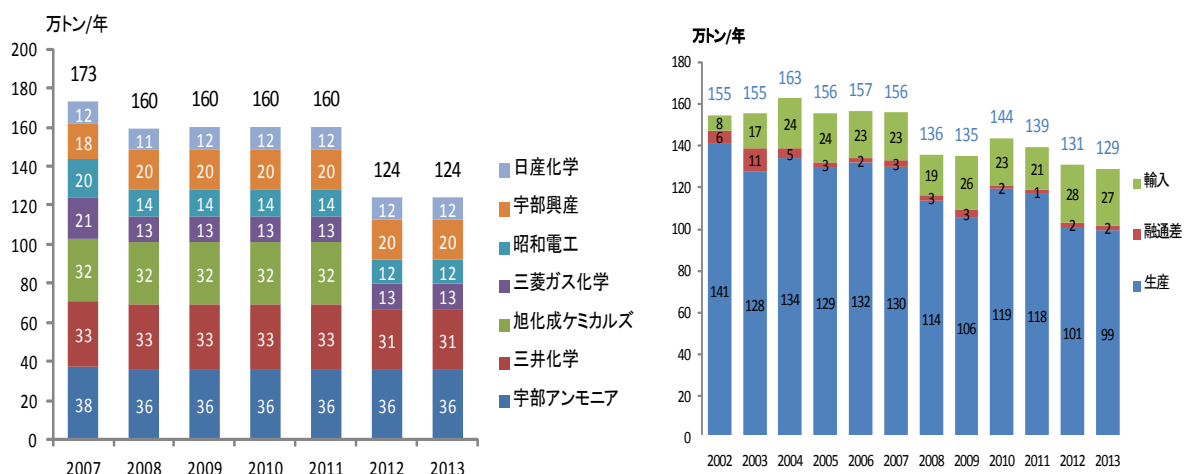


(出所) 日本アンモニア協会等各種資料から作成

2.2 日本のアンモニア工業について

日本のアンモニア工業は、戦後一貫した国内の農業生産の縮小に対応して、内需から東アジアを中心とした海外市場への輸出（尿素）拡大へと転換を図る一方、高度成長により増大した工業用アンモニアの内需に支えられて発展を続けた。しかし、アンモニアの主原料であるナフサ価格が、1973年の石油危機を契機として高騰し、国内のアンモニア生産は、天然ガスを主原料とする諸外国に対し急速に競争力を失った。1978年には、アンモニアは尿素とともに、特定不況産業安定臨時措置法（特安法）の指定を受け、いわゆる第1次構造改善に取り組んだ。その後、アンモニアの生産能力はピーク時の456万トンから、図2-3に示すように、2013年には6プラント124万トン/年まで減少した。2013年の需給バランスでは、内需129万トン/年、国内生産は99万トン/年、輸入は27万トン/年となっている。

図 2-3 アンモニアの需給バランス及び企業別生産能力の推移
(企業別生産能力) (需給バランス)

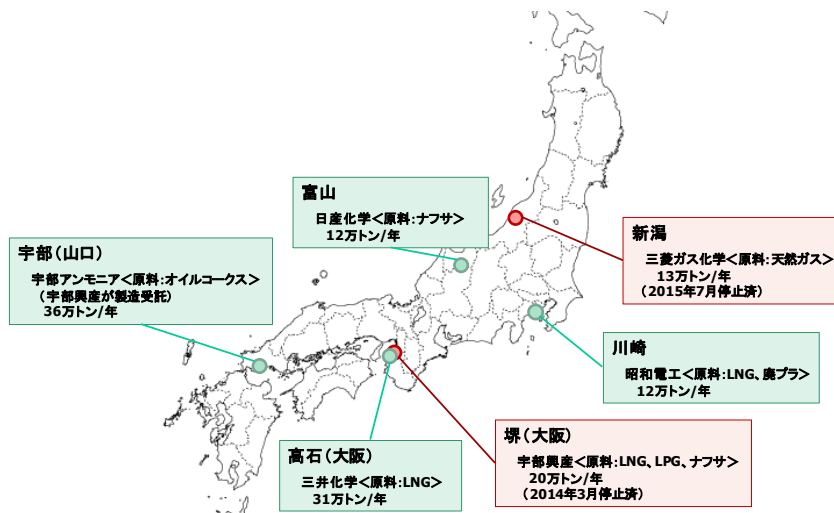


(出所) 日本アンモニア肥料協会

図 2-4 に示すように、6 プラントのうち、宇部興産堺工場が 2014 年 3 月に稼働停止、新潟の三菱ガス化学の工場が 2015 年 7 月に停止したことから、2015 年末には、生産能力は 4 プラント 91 万トンまで低下する。

世界全体では、需要の約 80%以上が化学肥料向けである。一方、日本では、現在、アンモニアの製造設備を所有する企業は、その下流にアンモニアを原料とする合成プロセスを所有し、主としてそれらへの供給を目的として稼働させている。従って、用途の大半が工業用となっている。ちなみに、日本アンモニア協会（現、日本肥料アンモニア協会）によれば、1990 年時点で、12 プラント、生産能力約 200 万トン/年、工業用は 81%という調査結果があり、工業用比率が極めて高い傾向は、現在でも大きな変化がないと考えられる。

図 2-4 日本におけるアンモニアプラントの能力及び配置



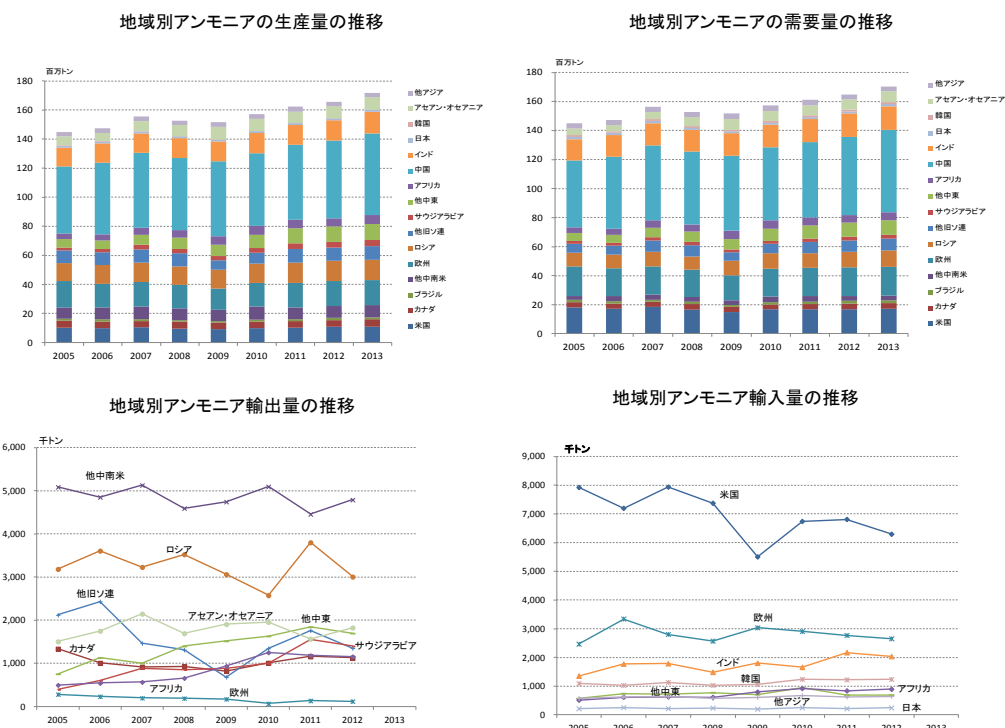
(出所) 日本肥料アンモニア協会

2.3 アンモニア需給について

2.3.1 アンモニアの生産量の推移と需給バランス

世界における地域別のアンモニア需要量及び生産量の推移を図 2-5 に示した。

図 2-5 世界の地域別アンモニア需給バランスの推移 (2005 年～2013 年)



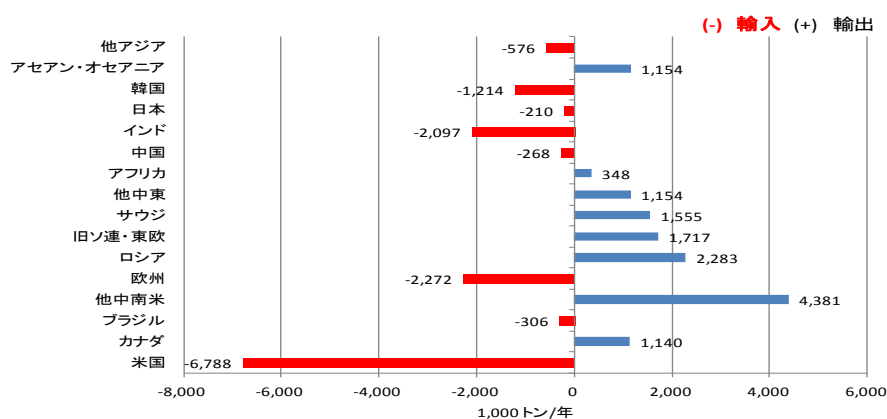
(出所) 三菱化学テクノロジーサーチの資料をもとに作成、2013 年は推計

2012 年の世界のアンモニア生産量は約 1 億 6,500 万トンである。そのうち中国が最大で約 5,300 万トン、その他、欧州は約 1,700 万トン、北米が約 1,600 万トンで、インドが約 1,400 万トンを生産している。一方、アンモニアの輸入量では、米国が最大で 600 万～700 万トン、欧州が約 300 万トン、インドが 100 万～200 万トンの規模でコンスタントに輸入をしている。それ以外の地域では比較的少ない。また、アンモニアの輸出量は、南米が約 500 万トン、ロシア及び旧ソ連地域が、これに次ぎ 400 万～500 万トンとなっており、比較的コンスタントに輸出をしている。最近、大きく輸出量を伸ばしている中東は、約 300 万トンの輸出を行っている。

2.3.2 地域別アンモニアの需給バランスと世界の貿易構造

前述した各地域の輸出入の特徴を分析するために、地域別の輸出入バランス（ネット）を図 2-6 に示した。アメリカ、欧州、インドは輸入ポジションとなる一方、中南米、ロシア・旧ソ連、中東は輸出ポジションとなる。

図 2-6 世界の地域別アンモニアの輸出入バランス（2011 年）



(出所) 三菱化学テクノロジーサーチの資料をもとに作成

次に、アンモニアの貿易フローの概略を図 2-7 にまとめた。これによると、アンモニア貿易のフローはブロック化され、概ね、以下のように分類することができる。

(1) アメリカへ

カナダ、中南米、ロシア・旧ソ連から（黒海から地中海を通りアメリカへ）

(2) 欧州へ

ロシア・旧ソ連、アフリカから

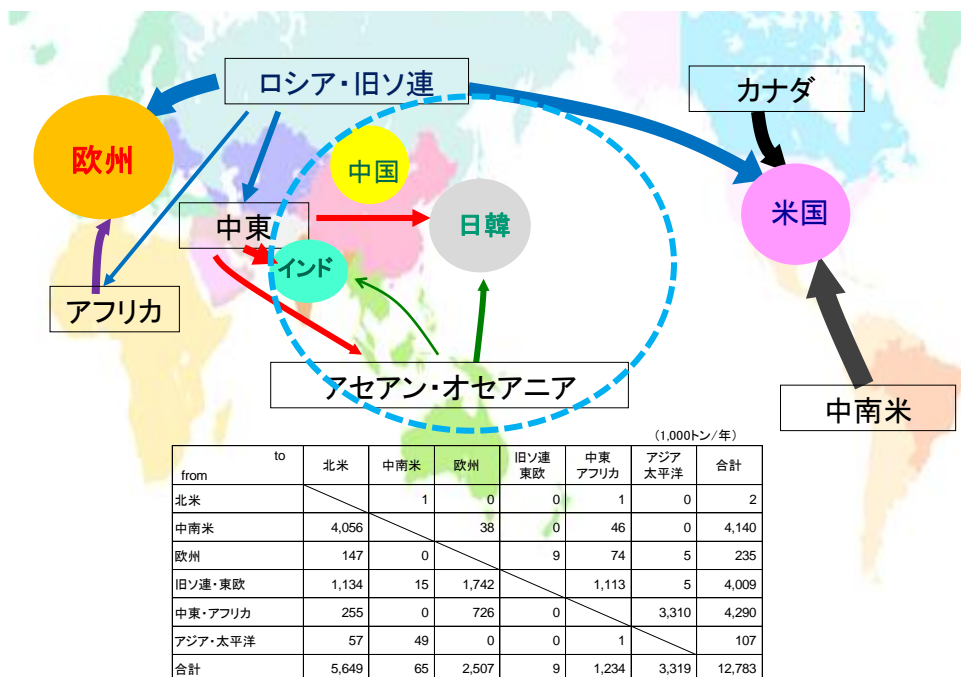
(3) インド、アジア（中国を除く）へ

中東から

(4) 中国

自給

図 2-7 世界のアンモニア貿易フローの概略図 (2011 年)



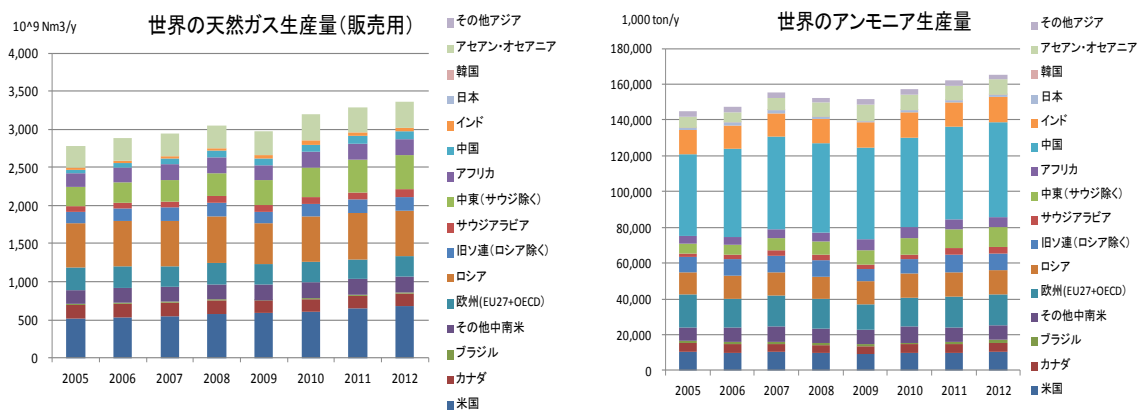
(出所) 三菱化学テクノリサーチの資料をもとに作成

2.3.3 アンモニアの原料需給とその生産ポテンシャル

(1) アンモニアの原料

図 2-8 に世界の天然ガス生産量とアンモニアの生産量を示した。アンモニアの原料は、アンモニアの生産プラントが立地する地域の天然ガス（油田の随伴ガスを含む）か、または石炭を原料として生産される（中国、インドではその大半を占める）。

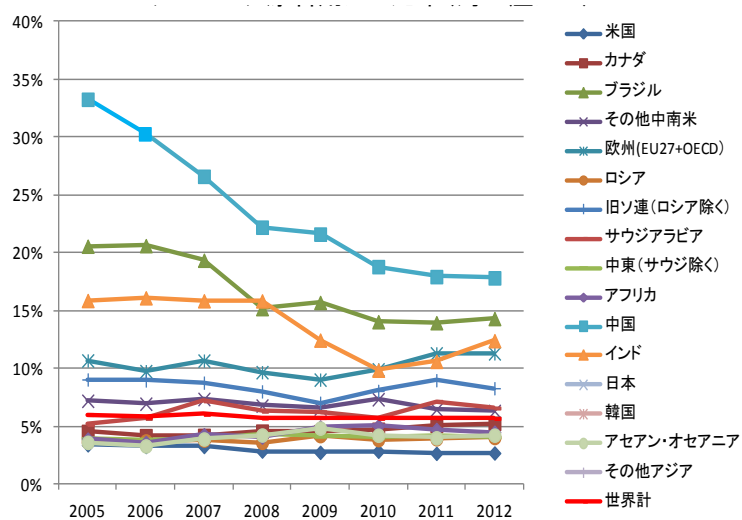
図 2-8 世界の地域別天然ガス及びアンモニア生産の推移



(出所) アンモニア：MCTR、天然ガス生産量：BP 統計をもとに作成

従って、当該地域のアンモニア生産量を当該地域の天然ガス生産量で割れば、アンモニアの生産に天然ガスをどの程度投入しているかが推計できる。その比率を地域別の推移であらわしたのが図 2-9 である。世界全体で、天然ガス生産量の約 5~6%が、アンモニアの生産に割り当てられていると推定される(アンモニア 1 トンあたりのガス投入量 0.61 トンと仮定)。

図 2-9 アンモニア原料用ガス比率 (対生産ガス) の推計結果

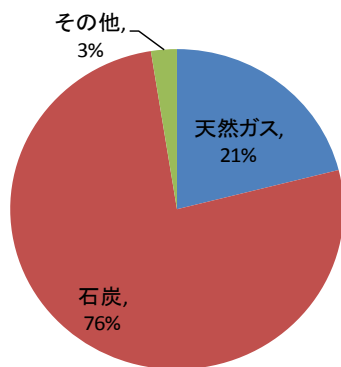


(出所) NEXANT 等データより作成

但し、図 2-10 に示すように、中国におけるアンモニア生産の原料構成比は、石炭が 76% を占めることから、インド・中国における石炭の構成比を 80%と仮定して、その分のアンモニア量を控除する調整をおこなっている。

図 2-10 中国におけるアンモニア生産用原料内訳

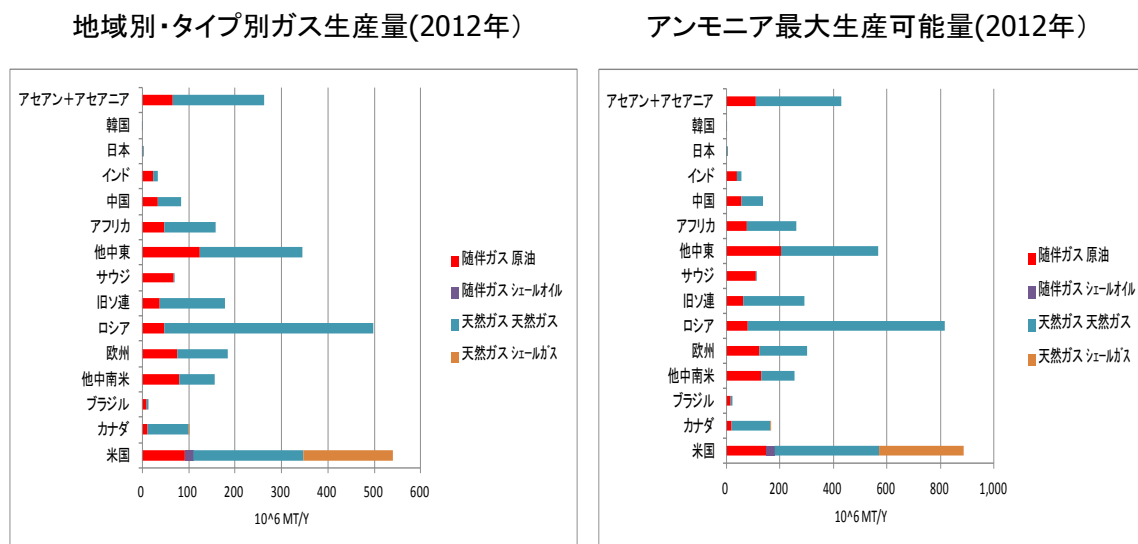
-9,700 万トン(2011 年)-



(出所) International Fertilizer Industry Association(IFA)

仮に、現在の天然ガス生産量をすべてアンモニア生産のための原料として振り替えた場合の、地域別生産量を示したのが図 2-11 である。世界全体で、アンモニアの最大生産可能量は約 43 億トンとなる。

図 2-11 地域別アンモニア最大生産可能量の推計



タイプ別ガス生産量(市場向け、2012年:世界計)

10 ⁶ MT/Y				合計
随伴ガス		天然ガス		
原油	シェールオイル	天然ガス	シェールガス	
717	19	1,696	195	2,627

アンモニア最大生産可能量(世界計)

10 ⁶ MT/Y				合計
随伴ガス		天然ガス		
原油	シェールオイル	天然ガス	シェールガス	
1,176	30	2,781	320	4,306

(注) アンモニア原単位：ガス投入量 0.61 トン(アンモニア 1 トンあたり)と仮定

(出所) IEEJ が各種資料に基づいて試算

2.3.4 アンモニアの生産余力と日本への供給余力

表 2-1 に世界各地域のアンモニアの輸出入バランスと生産余力について整理した。北米、西欧地域のようにプラントの稼働率が 90%を超えているところは、日々の需給調整を考慮すると、アンモニアの輸入が必要な状況と考えて良い。一方、中南米、ロシア・旧ソ連、中東地域では稼働率は 80%前後であり、中国・インドを除くアジア地域では 70%前後となる。また、アフリカでは 60%程度であることから、輸出余力はまだあると考えられる。インドはプラントの稼働率にやや余裕があると考えられるが、稼働率が上昇しないで輸入量が拡大している状況を勘案すると、技術的な制約か、原料である石炭供給の制約など、何らかの供給上の問題が存在すると推測される。中国については、アンモニアの需給は、ほぼバランスしているものの、供給力の過剰は大きく稼働率は 60%台にとどまっている。余剰能力を活かした海外への輸出を行わないのは、国内需要家への安定供給が最優先であり、

輸出に伴う内外市場の混乱（価格上昇、供給不足）を回避するのが理由と考えられる。

以上のことから、新增設を考えずに現有設備の稼働率の上昇を仮定した場合、アンモニアの生産余力は、世界全体で約 5,600 万トン/年程度、水素換算で約 1,100 億 Nm³/年程度であると試算される。但し、上述した各地域の需給状況を勘案すれば、中南米、ロシア、アフリカ、中東、アセアン・オセアニア地域のみが現実的に生産余力を保有していると考えられ、約 2,200 万トン/年、水素換算で約 440 億 Nm³/年程度と推計される。このうち、日本への輸入という観点から、中東、アセアン・オセアニア地域に限定した場合には、約 900 万トン/年、水素換算で約 190 億 Nm³/年に留まると考えられる。

表 2-1 世界の地域別アンモニア生産余力と需給バランスの比較 (2013 年)

	(1,000 NH ₃ -トン/年)									
	世界全体	北米	中南米	西欧	旧ソ・東欧	アフリカ	中東	中国	インド	アジア
生産能力	228,460	17,840	11,913	12,129	35,585	10,932	18,722	85,463	15,210	20,666
(稼働率)	75.3%	90.4%	78.7%	90.3%	84.8%	56.3%	80.8%	65.4%	86.9%	72.7%
生産量	172,015	16,123	9,374	10,957	30,184	6,152	15,126	55,851	13,215	15,022
内需	172,092	21,787	4,927	13,642	25,690	5,783	12,315	56,256	15,029	16,411
純輸出	-	-5,654	4,447	-2,685	4,494	369	2,811	-404	-1,814	-1,390
生産余力	56,445	1,717	2,539	1,172	5,401	4,780	3,596	29,612	1,995	5,644
水素換算 (億Nm ³ /年)	1,129	34	51	23	108	96	72	592	40	113

(注) アジアとは中国・インドを除いたもの

(出所) NEXANT 等データより IEEJ が推計

3. アンモニアの生産コストと市場価格の推移

3.1 地域別のアンモニアの生産コストとスポット市場価格

主要地域における代表的なアンモニアプラントについて、生産コストを整理したのが表 3-1 である。欧州が 448 ドル/トンと最も高く、米国はシェール革命の影響で、196 ドル/トンまで低下している。一方、中東はわずか 84 ドル/トンとなった。コストの内訳から明らかかなように、アンモニアの生産コストは、原料コストが大きな比率を占め、競争力は殆ど原料コストで決まると考えられる。

そこで、欧州のプラントコストは（原料コストを除く）、ほぼ日本でのプラントコストと同等に考え、次に、各地域の天然ガスのコストについては、米国の場合は Henry-Hub 価格に、欧州の場合は日本の LNG の輸入 CIF 価格に置き換えて、2000 年以降の生産コストの推移を試算したのが図 3-1 である。米国は 2000 年代前半、天然ガスの生産量が減少し生産コストが上昇する傾向にあったが、2009 年以降、シェール革命の恩恵により生産コストが大幅に低下し、中東地域との格差を縮めつつある。

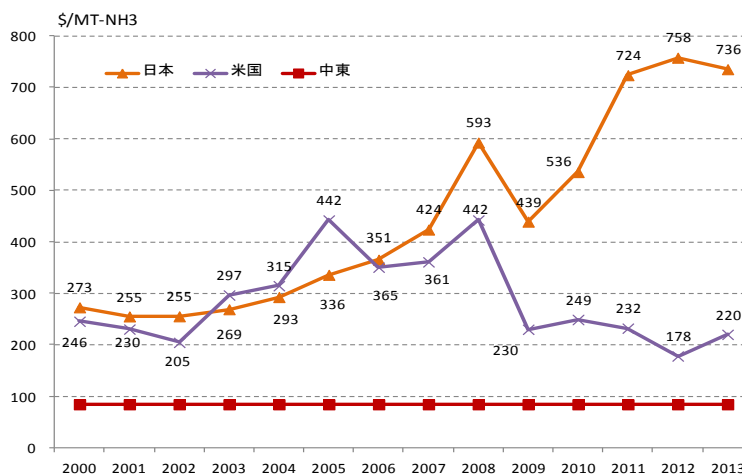
表 3-1 地域別アンモニアの生産コストの比較 (2011 年)

		米国 USGC	欧州	中東
生産能力	1,000t/y	688	670	726
生産量 (稼働率)	1,000t/y %	633 92	563 84	646 89
建設費	10 ⁶ \$	973	1,093	1,104
変動費		\$/MT		
原料費		137	374	22
触媒・薬品		2	2	2
ユーティリティ		9	16	10
合計		148	392	34
固定費		\$/MT		
直接経費		20	26	20
間接経費		29	30	30
合計		48	56	50
総計		196	448	84
ガス価格		\$/10 ⁶ btu		
		3.2	9.5	0.75
ガス消費		\$/MT		
		159	474	38
ガス消費		MT/MT-NH3		
		0.87	0.79	0.58
原料費比率		%		
		70	84	26

(出所) NEXANT 等データより IEEJ が試算

次に、日本、米国、中東でのアンモニアの生産コストの推移と、各々、アジア市場(日本市場の代替)、米国市場、中東市場におけるアンモニアのスポット価格の推移を比較したのが、図 3-2 及び図 3-3 である。これを見ると、日本でのアンモニアの生産コストは、常にアジア市場でのスポット価格を上回っていることから、輸入 LNG を原料と想定した場合、日本での生産は、競争力の観点からは、必ずしも有利ではないことが理解できる¹。

図 3-1 地域別アンモニアの生産コストの推移 (推計)

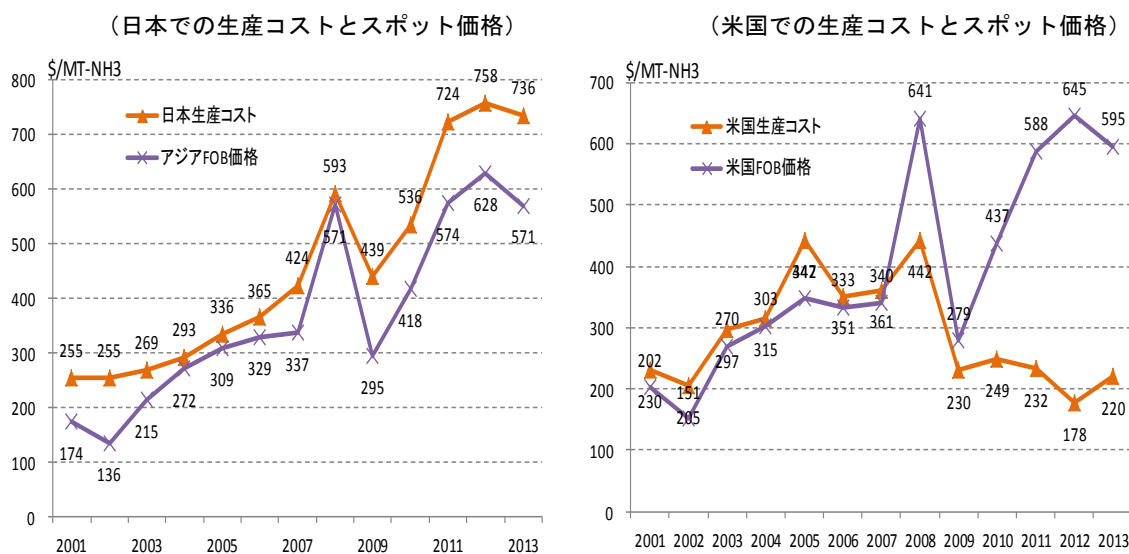


(注) 表 3-1 の欧州地域のプラントコストのうち、原料価格のみ、日本の輸入 LNG (CIF) 価格で置き換えて計算したものを日本のアンモニア生産コストとした。

¹ 輸入 LNG を原料と仮定した場合の試算結果である。実際の国内アンモニアプラントは、安価なオイルコークス、廃プラなどを原料として利用し、原料の低コスト化・採算性の維持を図っている。

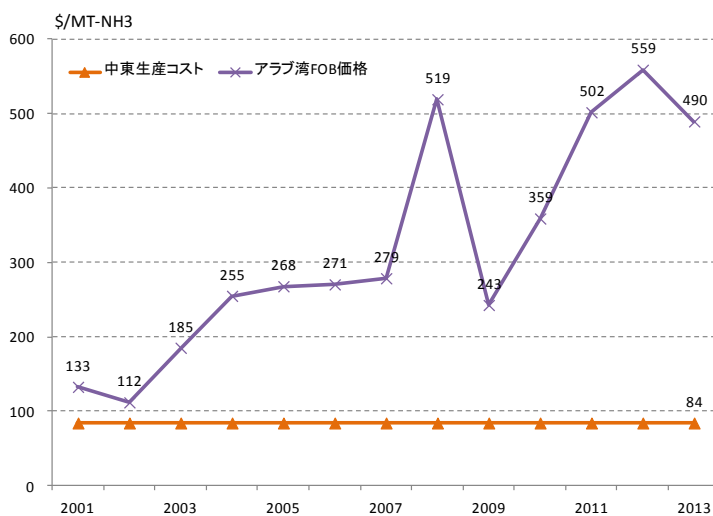
一方、米国では 2009 年以降、生産コストが大幅に低下し、アンモニア生産の収益力が急速に高まっていることが分かる。中東地域の場合、大油田の随伴ガス等をベースとして、原料コストは政策的に低位に設定された価格（輸出用原料価格）であることから、圧倒的なコスト競争力を有することが分かる。なお、製品の市場価格は、生産コストの高い欧州市場（限界企業が存在できる）を基準としている。市場間の価格差はほぼ地域間のフレート差（またはそれ以下）に収斂すると考えられる。

図 3-2 地域別のアンモニアの生産コスト及びスポット価格の推移(推計)



(注) スポット価格は NEXANT 等の資料から IEEJ が試算

図 3-3 中東地域のアンモニアの生産コスト及びスポット価格の推移(推計)



(注) スポット価格は NEXANT 等の資料から IEEJ が試算

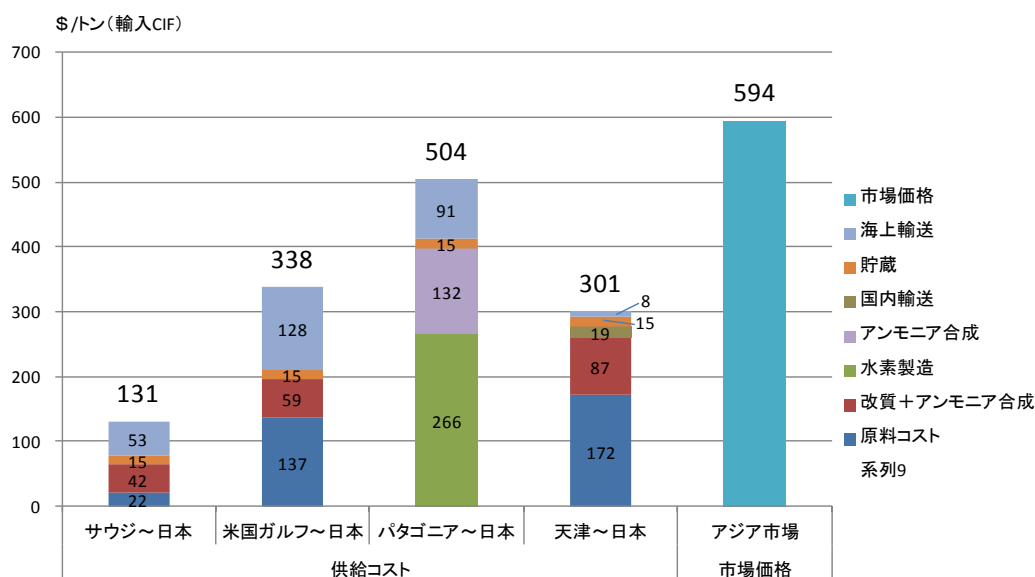
3.2 地域別の日本へのアンモニア輸入価格（コストとスポット市場価格）

3.1 で試算された生産コストをもとに、中東のサウジ及び米国（ガルフ）から日本へアンモニアが輸入された場合の輸入 CIF 価格をコストベースで試算した。中国については、山西省の産炭地でアンモニアを生産した後、天津まで貨車輸送し、日本へ海上輸送するルートを設定した。さらに、南米のパタゴニア地域から輸入するケースを追加した。この場合は、現地の風力発電により水を電気分解して水素を生産し、合成したアンモニアを日本まで運ぶと仮定した。これらの輸入価格を、レファレンスとなるアジア市場のスポット価格（シンガポールから日本までのフレートを加算）と比較したのが図 3-4 である。

この試算によれば、アジア市場からの輸入がトンあたり 594 ドルに対し、サウジからの輸入コストはトンあたり 131 ドル、同様にして中国からはトンあたり 301 ドル、米国からがトンあたり 338 ドルとなった。これに対し、パタゴニアからの輸入コストは 504 ドルとなった。

以上のことから、国内でのアンモニアのエネルギー利用がはじまり、大規模にアンモニアを輸入するという状況を仮定すると、生産余力があり、コスト競争力のある地域から日本への大量輸出が生じ、市場価格は大きな影響を受けることが考えられる。

図 3-4 地域別のアンモニアの輸入コストの内訳(2013 年ベース)



(注) 為替レート 120 円/\$、南米、米国からは喜望峰まわりのルートで計算した。

(出所) パタゴニアでのアンモニア製造については、村田謙二（2011 年）から、石炭からのアンモニア製造については、中国の研究論文をもとに試算を行った。

4. まとめ

最後に、本報告書で得られた知見を要約すると以下の通りである。

(1) アンモニアの需給バランス

- ①2012年の世界のアンモニア生産量は1億6,500万トンであり、そのうち、約84%が化学肥料の原料に利用されている。
- ②輸出ポジションにある地域は、中南米、ロシア、旧ソ連（ロシア除く）、中東、アセアン・オセアニアである。

(2) 原料需給及びアンモニアの生産ポテンシャル

- ①アンモニアの原料はその大半が、天然ガス(油田の随伴ガス)であり、世界の天然ガス生産量の約5%が使用されている。但し、中国・インドにおいては、アンモニアの原料は石炭が中心である。
- ②2013年におけるアンモニアの生産余力は約5,600万トン/年と推定されるが、実際に輸出可能な量は約2,200万トン/年と考えられる。
- ③日本向け輸出に限定すれば、中東、アセアン・オセアニア地域が中心となることから、現時点の輸入可能量は約900万トン/年（水素換算約190億Nm³/年）と推計される。

(3) アンモニアの生産コスト及び市場価格

- ①2011年時点のエネルギー価格を前提とすると、アンモニアの生産コストに占める原料費比率は、中東を除いて70%以上の高水準となる。
- ②2013年におけるアジア市場のスポット価格(日本CIFベースに換算)は、594ドル/トンである。一方、中東(随伴ガス)及び米国(シェールガス)からのアンモニアの供給コスト(日本CIFベース)は、アジア市場のスポット価格をかなり下回る水準となる。

参考文献

- 1) 日本アンモニア協会, 「アンモニア工業の需給構造の変化と技術対応方向に関する調査研究」, (1992年)
- 2) 国立科学博物館, 「肥料製造技術の系統化に関する調査報告書」, (2008年)
- 3) 村田謙二, 「大規模風力水素による低炭素社会ーアンモニアを水素輸送キャリアとする場合」, 燃料電池 10(4), (2011年)
- 4) Jeffrey Ralph Bartels, A feasibility study of implementing an Ammonia”, 2008
- 5) NEXANT, Strategic Business Analysis – Ammonia and Urea Report”, 2014

お問合せ: report@tky.ieej.or.jp