

日本企業の水素サプライチェーン展開の特徴と変化

——日経産業新聞を対象としたテキストマイニング分析——

孫 穎* 在 間 敬 子**

本研究では、1973年から2023年までの日経産業新聞の記事タイトルを用いてテキストマイニングを行い、日本企業による水素事業展開の全体像を概観し、水素サプライチェーン（製造・貯蔵・輸送・利用）の個々のプロセスにおける企業の年代別の取り組みの特徴と変化および、水素の供給網の構築に関する動向を定量的に明らかにした。その結果、日本企業による水素の取り組みは、「液体水素の開発→水素貯蔵用合金の開発→水素利用製品の開発→水素・燃料電池の開発・製造→水素・燃料電池による電力提供の拡大」という流れで発展してきたこと、水素サプライチェーンは全体的に水素の製造に重点が置かれており、水素・燃料電池が最注力分野であること、供給網は大企業によって推進されてきたことなどを明らかにした。

キーワード：水素サプライチェーン、日経産業新聞、KH Coder、年代別、対応分析

1. はじめに

昨今、脱炭素社会を目指して、水素エネルギーの戦略的な導入が世界中で急速に展開されている。水素エネルギーは、利用時にCO₂を排出しないだけでなく、再生可能エネルギー（以下、再エネ）や下水汚泥、副生水素など多様なエネルギー源や資源からも作り出すことができるため、クリーンエネルギーとして期待されている。また、エネルギーキャリアとして貯蔵、運搬、利用ができるため、温暖化対策およびエネルギー安全保障の有力手段として注目されている（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議、2017）¹⁾。

日本は、世界に先駆けて2017年に「水素基本戦略」を策定し、その前後に「水素・燃料電池政策ロードマップ」（2014、2019）や「グリーン成長戦略」（2021）などを公表することで、政府と企業によって水素エネルギーの導入を着実に進めてきた（表1）。その背景には、2050年カーボンニュートラルの実現や国のエネルギー安全保障、水素関連産業による経済成長への期待など、国内の様々な事情がある。またSDGs国際目標やパリ協定、ESG投資の拡大も水素エネ

* Ying SUN（責任著者）横浜国立大学大学院 国際社会科学研究院・経営学部 教授

** Keiko ZAIMA 京都産業大学 経営学部 教授

ルギーへの取り組みを促進したといえる。

一方で、欧州諸国も2020年頃から相次いで「水素戦略」を公表し、2022年には世界最大の水素需要国である中国も「水素エネルギー産業発展の中長期計画(2021~2035)」を発表した。そして2023年に米国が「国家グリーン水素戦略」を打ち出し、水素社会への移行が世界的に本格化している。今後水素関連産業のグローバル競争が一層激化していくと見込まれる。

こうした世界情勢を受け、日本政府は、2023年6月に「水素基本戦略」を改定して新たに「水素産業戦略」を追加し、今後の15年間で水素関連産業に官民合わせて15兆円を投資することで、日本企業のグローバル水素市場での競争力を強化する支援策を打ち出した。2040年までに水素の年間導入量1,200万トンを実現するという目標が設定されており、日本国内での水素エネルギーの導入や利用拡大が急務となっている(再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議, 2023)²⁾。

一方で、これまでは化石燃料の利用を前提としてインフラや制度、産業システムが整備されていたため、水素社会へのシフトは容易ではない。水素エネルギーの普及には、一般的に言われている供給コストやインフラの整備、技術イノベーションなどの課題のほか、水素の製造、貯蔵、輸送、利用という一連のサプライチェーンの構築そしてその高効率化の実現がカギとなる。

水素エネルギーに関する技術開発は国内外で進められているが、日本でもすでに1974年より、通産省工業技術院サンシャイン計画推進本部(名称は当時)において推進されてきた。水素サプライチェーンの包括的な構築は近年になって注目された取り組みであるが、製造、貯蔵、輸送、利用という水素サプライチェーンの個々プロセスや、部分的なサプライチェーンの構築において、日本企業の技術開発は世界的にも先進的なものが多くみられる。また、水素エネルギーに関する研究も、水素に特化した『水素エネルギーシステム』学会誌(1973年創刊)をはじめとして多く学術誌で報告されている。水素サプライチェーン(製造・貯蔵・輸送・利用)の視点から整理すると、例えば、水素の製造に関して、水素製造システムに関する技術研究(加藤ら, 2019)³⁾、水素の貯蔵に関して、水素吸蔵合金タンクの特性の研究(川上ら, 2006)⁴⁾、水素の貯蔵合金技術の住宅電源への応用研究(白土ら, 2011)⁵⁾、水素の輸送に関して、褐炭から製造した水素の液化水素運搬船による海上輸送の研究(相馬ら, 2023)⁶⁾、水素の利用に関して、水素の自動車への利用技術の開発(岡野, 2000)⁷⁾、発電・自動車用燃料としての水素の導入可能性の研究(大槻ら, 2018)⁸⁾、ゼロエミッションビルへの水素利用システム導入(瀬川ら, 2021)⁹⁾などがあげられる。また、部分的なサプライチェーンの研究として、液体水素の製造・貯蔵・輸送に関する研究(花田, 2000)¹⁰⁾、褐炭からの水素製造・輸送・貯蔵のサプライチェーンの構築(相馬ら, 2022)¹¹⁾、国際水素サプライチェーンの構築に向けた川崎重工業の事例研究(中嶋, 2023)¹²⁾などがあげられる。そして、水素エネルギーの現状に関する研究(中田, 1981; 資源エネルギー庁, 2023)^{13) 14)}や、LCAの視点からの副生水素の環境負荷の評価研究(角鹿ら, 2012)¹⁵⁾や水素エネルギーを俯瞰した研究(工藤, 2016)¹⁶⁾なども存在している。

一方で、これらの研究は、技術開発に関する科学的な論文や解説が主であり、社会科学の視点から、日本企業による水素エネルギー取り組みの全体像を時系列に定量的に俯瞰した研究は見当たらない。特にサプライチェーン単位での導入が必要不可欠にもかかわらず、その状況は不明確である。これまで日本企業が水素サプライチェーンの製造、貯蔵、輸送、利用の各プロセスにおいて、年代別でどのような取り組みを行ってきたのか、サプライチェーン単位での包括的な水素エネルギー導入の取り組みの特徴や変化は何かについて、計量的に分析した研究が

見当たらない。

そこで、本研究は、日本企業による水素エネルギー導入の全体像を俯瞰したうえで、水素サプライチェーン（製造・貯留・輸送・利用）の視点から日本企業における水素事業展開の特徴と変化を年代別に把握することを目的とする。分析には、日経テレコン21で公開されている日経産業新聞（1973年10月1日～2023年10月3日）の記事タイトルおよびテキストマイニング（KH Coder 2023）を用いる。

本研究の結果は、日本企業や行政による水素エネルギーの導入および水素サプライチェーンの構築と管理に基礎的な知見を与えるものと考えられる。

表1 日本における水素エネルギー導入の主要政策

年	水素の関連政策	主な内容
1974年	「サンシャイン計画」(1992年まで)	再エネ、水素エネルギーなどの石油代替エネルギー技術の研究開発を重点的に進めること。
1978年	「ムーンライト計画」(1993年まで)	省エネルギー技術の研究開発が推進された。新型電池電力貯蔵システム、燃料電池発電技術、スーパーヒートポンプエネルギー集積システム、超電導電力応用技術、セラミックガスタービンなど。
1993年	「ニューサンシャイン計画」(2001年まで)	「サンシャイン計画」と「ムーンライト計画」を統合したもの。地熱利用、太陽光発電、水素エネルギー等の技術開発に重点的に取り組むこと。「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)」の研究開発の開始。1993～2020年までの28年間で3期に分けて研究開発を実施。
2014年6月	「水素・燃料電池戦略ロードマップ」	技術開発目標や普及のステップなどの具体化。
2016年3月	「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(改定)	家庭用燃料電池(エネファーム)の普及拡大、燃料電池自動車(FCV)の市販開始、FCVに水素を供給する「水素ステーション」の整備拡大など。
2017年12月	「水素基本戦略」策定、世界初	2050年カーボンフリーな水素社会の構築を目指す内容。
2018年5月	「第5次エネルギー基本計画」の発表	水素や蓄電池などの技術開発を進めることの記載。
2019年3月	「水素・燃料電池政策ロードマップ」(改定)	家庭用燃料電池の将来的な価格目標と燃料電池自動車の普及目標の設定、水素発電に関する記載の具体化など。
2021年6月	「グリーン成長戦略」策定	2050年カーボンニュートラル宣言を受け、水素を含めた14分野の産業成長戦略を策定。
2021年10月	「第6次エネ基本計画」閣議決定	2030年電源構成のうち、1%程度を水素・アンモニアとすることを旨とする。
2023年5月	「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律」(GX推進法、GX脱炭素電源法の成立)	<ul style="list-style-type: none"> ・カーボンプライシングの導入、脱炭素社会に必要な技術開発のための投資支援などの経済的方策。 ・原子力の活用、再エネ事業の規制強化、水素やアンモニアの需要拡大への支援など。
2023年6月	「水素基本戦略」改定	「水素産業戦略」が重要な柱へ。「水電解装置」や「燃料電池」など9分野を重点的に取り組む。今後15年で官民あわせて15兆円を超える投資を行う計画。2040年には1200万トン程度にまで増やすことをめざしている。

2. データと分析手法

日本企業による水素エネルギーの導入状況を分析するために、国内の産業と企業情報に特化したビジネス総合誌である「日経産業新聞」¹⁷⁾ (日経テレコン21で公開されている電子版) の記事タイトル情報を用いた。「日経産業新聞」のみを用いることで、カウントの重複を回避し、企業の動向に最も焦点を当てることができる。また、記事のタイトルだけでも各年代における代表的な企業の取り組みのキーワードがある程度網羅されていると考えられる。

テキストマイニング分析にはフリー・ソフトウェア「KH Coder」を用いた (KH Coderについては樋口 (2020)¹⁸⁾ を参照)。分析期間は、「日経産業新聞」が創刊した1973年10月1日から2023年10月3日までの全期間とし、タイトルに「水素」という言葉が含まれる2741件の記事 (「塩化水素」を含む記事を除く) を分析対象とした。そして、水素サプライチェーンの個々のプロセス (製造・貯留・輸送・利用) での取り組みを確認するために、「水素and製造」、「水素and貯蔵」、「水素and輸送」、「水素and利用」が含まれる記事を、水素サプライチェーンチェーン単位の取り組みを確認するために、「水素and供給網」が含まれる記事を分析対象とした。「供給網」は、大規模な水素提供と消費に向けて、製造・貯蔵・輸送・利用という水素サプライチェーン全体の包括的な構築あるいは部分的な構築を図るものである。従来のサプライチェーンの個々のプロセスでの個別の取り組みより、水素の効率的な供給を実現できる。

3. 分析結果

日本企業における水素事業展開の全体像を俯瞰し、製造・貯留・輸送・利用の個々のプロセスにおける企業の年代別の取り組みの特徴および、供給網の構築に関する動向を明らかにするために、用語の出現回数分析、特徴語の対応分析などを行った。

3.1 水素事業の全体像

3.1.1 日本企業の水素事業の展開状況

表2は、1973年10月1日から2023年10月3日まで、「水素」、「水素and製造」、「水素and貯蔵」、「水素and輸送」、「水素and利用」、「水素and供給網」といった用語が記事タイトルでの出現回数を示すものである。そこから次のような3点が読み取れる。

- 1) 水素に関する記事が1973~1979年 (140件) から1980~1989年 (417件) にわたって増加する傾向で、1990~1999年 (384件) では若干減速したものの、2000~2009年 (614件) から再び増加し、特に2010~2023年 (1186件) の記事数は著しく上昇していることがわかる。日本企業において水素に関する取り組みが長い間進められてきているものの、本格的に展開したのは2010年以降だと言える。
- 2) 水素サプライチェーンの個々のプロセス (製造・貯蔵・輸送・利用) に関して、製造に関する取り組み (268件) が最も多く、特に2011年以降大きな注目を浴びていることがわかる。一方、輸送に関する取り組み (46件) が最も少なく、2010年以降急に件数が伸びていることから、現在はスタート段階にあるものの、今後大きく展開される可能性がある分野だと考えられる。貯蔵 (196件) は1980~1989年において高い注目が浴びたものの、その後、件数が減り大きな件数の伸びがみられていない状況が続いている。利用 (134件) に関しても、

どの時期も一定の件数が維持されているものの、大きな変化がみられていない状況である。日本企業による水素サプライチェーンの取り組みは、全体的に水素の製造に重心を置いているとみられる。

- 3) サプライチェーン単位（供給網）としての取り組みは、61件という抽出結果となっており、実際の記事の出現時期としては2011年以降にみられるようになり、2020～2023年の三年間（50件）で急増していることから、水素サプライチェーン単位での取り組みはスタート段階にあるとみられる。

表2 年代別・プロセス別における用語の出現回数

時期/検索語	水素	水素 and 製造	水素 and 貯蔵	水素 and 輸送	水素 and 利用	水素 and 供給網
1973～1979	140	16	6	2	6	0
1980～1989	417	42	97	3	30	0
1990～1999	384	23	22	0	18	0
2000～2009	614	73	34	6	42	0
2010～2023	1186	114	37	35	38	61
計 (件数)	2741	268	196	46	134	61

3.1.2 水素事業の重点分野

表3は、出現回数上位50の抽出語を示したものである。「水素」のほか、「電池」や「燃料」の出現回数が最も多く、「開発」や「製造」、「技術」、「貯蔵」なども高い出現回数が示された。これまで日本の水素事業は、電池・燃料分野に最も力を入れてきたことが分かった。また企業名として、岩谷産業や東芝が最も出現回数が高いことが示され、水素事業に関して最注目されている企業であることが示された。

表3 抽出語上位一覧

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
水素	2799	貯蔵	200	実験	100	岩谷産業	82	分解	69
電池	573	合金	179	活用	99	実用	79	吸	66
燃料	435	エネルギー	146	炭化	97	液体	75	コスト	65
開発	320	エネ	142	触媒	96	工場	75	液化	64
製造	272	利用	135	発電	96	事業	74	産業	62
技術	254	研究	118	自動車	93	実証	73	環境	61
ガス	239	効率	110	使う	91	東芝	71	蔵	61
ニッケル	212	ステーション	108	フラッシュ	90	社会	70	普及	60
供給	203	生産	107	米	89	炭素	69	プラント	57
装置	202	日本	104	拠点	87	発生	69	グリーン	56

3.1.3 代表的な企業や団体

表4は、水素サプライチェーンの各プロセスにおいて、出現回数上位の企業や団体を表しているもので、KH Coderによる抽出リストの中の組織リストを用いた。「タグ」や「未知語」な

どに誤分類された組織名もカウントするように補正を行った。水素サプライチェーンのプロセス（製造・貯蔵・輸送・利用）ごとの代表的な企業や団体は、次の通りである。

水素の製造は、ENEOS（8回）、岩谷産業（7回）、三菱化工機（7回）、トヨタ（5回）など、貯蔵は日本製鋼所（13回）や中央電気工業（8回）、東芝（5回）など、輸送は千代田化工建設（2回）、川崎重工業（2回）など、利用は東芝（4回）、日本製鋼所（3回）などの企業が中心に取り組まれていることが分かる。また、「原研」、「工学院大」、「横浜国大」などの研究所や大学による取り組みも目立っていることも示された。

また、水素の供給網に関しては、岩谷産業（8回）や川崎重工業（7回）、千代田化工建設（7回）、トヨタ（6回）が記事に取り上げられる回数が多く、大企業が中心となって包括的な水素サプライチェーンの構築が行われていると考えられる。

表4 各プロセスにおける企業や組織のランキング

水素 and 製造		水素 and 貯蔵		水素 and 輸送		水素 and 利用		水素 and 供給網	
原研	10	日本製鋼所	13	千代田化工建設	2	横浜国大	4	岩谷産業	8
ENEOS	8	工学院大	8	川崎重工業	2	九大	4	川崎重工業	7
三菱化工機	7	中央電気工業	5	岩谷産業	1	東芝	4	千代田化工	7
岩谷産業	7	東芝	5	JFE	1	東大	4	トヨタ	6
DEDO	6	東北大	5	ブラザー工業	1	東京工業大学	3	丸紅	5
東工大	6	日立	4	プレス工業	1	日本製鋼所	3	三菱商事	5
工技院	6	松下	3	九大	1	NEDO	3	ENEOS	5
東ガス	6	新日鉄	3	昭和電工	1	トヨタ	2	NEDO	4
トヨタ	5	JFE	2	東京工業大学	1	三菱ガス化学	2	東芝	4
京大	5	横浜国大	2	東大	1	神鋼	2	関西電力	2
東芝	5	環境省	2	日石	1	その他	1	三井物産	2
東大	5	九大	2	日東電工	1			大成建設	2
日立造船	5	鹿島	2	日本酸素	1			大林組	2
旭化成	4	住金	2	JBIC	1			日立	2
住金	4	早大	2					その他	1
日立	4	日石	2						
三菱重工業	4	その他	1						
その他	1~3								

3.1.4 年代別の取り組みの特徴と変化

1973年10月1日から2023年10月3日までの各年代における水素エネルギーへの取り組みの特徴と変化を俯瞰するために、「外部変数と見出し」を用いた各年代の特徴語の抽出（表5）および、出現回数上位の抽出語を用いた対応分析（図1）を行った。図1のように、1973~1979年と1980~1989年、1990~1999年、2010~2023年とともに原点から離れているため、これらの年代で比較的特徴的な取り組みが行われていると考えられる。

表5 各年代の特徴語 (全体像)

	1973~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009	2010~2023
液体	.129	合金 .199	ニッケル .279	電池 .217	燃料 .136
炭化	.118	貯蔵 .188	電池 .183	燃料 .207	供給 .113
開発	.094	水素 .152	水素 .140	開発 .092	エネ .092
ロケット	.093	開発 .121	合金 .089	製造 .090	ステーション .070
研究	.071	装置 .106	開発 .077	技術 .085	拠点 .063
短信	.070	ガス .103	自動車 .076	装置 .082	発電 .056
資源	.069	技術 .078	東芝 .063	ニッケル .073	活用 .056
試験	.062	実用 .074	生産 .063	ガス .072	フラッシュ .054
エンジン	.061	化学 .073	技術 .062	プラス .060	炭素 .047
金属	.060	製造 .065	エネルギー .060	効率 .060	実証 .047

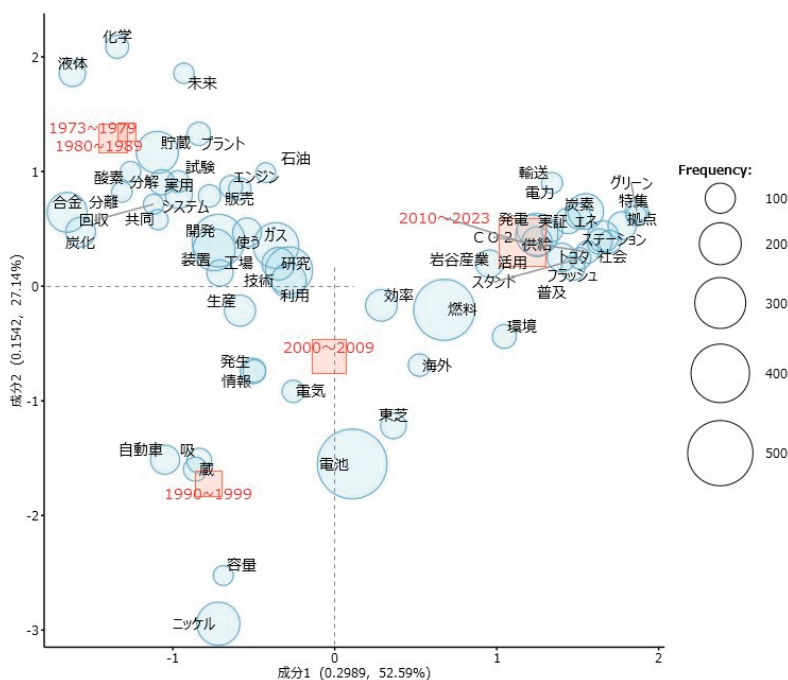


図1 特徴語の対応分析 (全体像)

特徴語と記事タイトルとを照らし合わせながら、対応分析の結果を確認すると、「1973~1979年」の特徴語は、「液体、開発」などで、この時期、液体水素が代替エネルギーとして、ロケットエンジンなどの宇宙事業での利用が注目され、液体水素の開発や試験、装置の開発、工場設置などが行われていた。「1980~1989年」の特徴語は、「合金、貯蔵、開発」などで、水素を効率よく貯蔵できる合金の開発や、水素導入にかかわる各領域の装置開発、水素ガスの利用などが主に行われていた。

「1990～1999年」の特徴語は、「ニッケル、電池、合金、自動車」などで、この時期、水素貯蔵合金の実用化に向けて、水素自動車（マツダ）や電池材料などへの応用研究が行われていた。通産省も、水素・燃料電池自動車の実用化に向けて、水素貯蔵装置、水素を車に充てんする施設などの基礎技術の研究に着手した。なお、水素のエネルギー利用の観点とは異なるが、同時期に、水素貯蔵合金を使ったニッケル水素電池が（有害化学物質であるカドミウムを含まない環境に良い製品として）注目されるようになり、企業によるニッケル水素電池の量産や新規参入（トヨタ）、その性能向上に関する取り組みも多くみられた。

「2000～2009年」の特徴語は、「電池、燃料、ニッケル」などであり、2000年代初期、自動車への水素・燃料電池の導入が始まり、水素・燃料電池関連の技術開発や装置改良、新製品投入など幅広い分野で水素・燃料電池に取り組むようになった。水素・燃料電池の家庭や深海探査機などへの応用も企業によって行われた。水素・燃料電池の導入が急速に前進した時期と言える。また、プリウスなどの自動車へのニッケル水素電池の導入をはじめ、ニッケル水素電池の自動車などの製品への導入が進み、全体的に急成長がみられた。

「2010～2023年」では、「燃料、供給、ステーション、拠点、発電、活用」などの語が特徴語である。この時期、トヨタ、岩谷産業、各ガス会社、富士通など多くの企業が水素・燃料電池の供給に向けて、ステーションやその拠点の設置を進めており、水素ステーションが身近な存在として普及されるようになってきた。そして、最近では、水素拠点の拡大・普及や、低コスト製造、太陽光や水力などの再エネによる水素製造など、様々な分野で実証が行われている状況である。また、水素発電が拡大され、再エネによる電気エネルギーを水素に変換して貯蔵すること、さらに水素の生成・貯蔵・発電の一体化などの取り組みなど、発電という形でエネルギー供給システムをめぐって水素の活用が多く行われるようになった。

さらに、各時期を俯瞰すると、2010年までの各年代に共通して、「開発」という特徴語が抽出されたが、2010年以降、供給や活用が抽出されたことから、2010年までの研究開発の成果が現れ、水素の供給や活用へと取り組みへのシフトが見られるようになったと見て取れる。

3.2 サプライチェーンの各プロセスにおける取り組みの特徴と変化

水素サプライチェーンの各プロセス（製造・貯蔵・輸送・利用）における年代別の企業の取り組みの特徴とその変化を把握するために、各年代の特徴語の抽出（表6～10）、および出現回数上位の抽出語を用いた対応分析（図2～6）を行った。以下では、各年代の特徴語や、対応分析の上位抽出語と、実際の記事タイトルとを照らし合わせながら、時期ごとの特徴的な取り組みを特定していく。

3.2.1 水素の製造

表6と図2に示す水素の製造では、1980～1989年、2000～2009年、2010～2023年の3期間が原点から離れており、これらの時期に比較的特徴の高い取り組みが行われているとみられる。各年代の取り組みを見ていくと、1973～1979年では、「電解、ボルシェ」などの語が特徴語である。この時期、水素製造を目指して、水や高圧水、水蒸気の電解による水素の製造が進められた。また、世界初の水素エネルギー会議で太陽熱を使って海水から水素を製造する「ボルシェ計画」が横浜国立大学の太田時男教授によって提案されたなど、水素の製造をめぐって様々な研究や実験などの試みが行われた。

表6 各年代の特徴語 (製造)

	1973~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009	2010~2023
電解	.188	純度 .227	石炭 .241	水素 .272	水素 .425
着手	.177	技術 .222	利用 .116	製造 .272	製造 .425
教授	.158	プラント .180	成功 .115	装置 .226	エネ .121
完成	.150	ガス .171	電池 .111	電池 .220	発電 .119
ボルシェ	.125	水素 .157	運転 .103	燃料 .216	グリーン .095
横浜国大	.125	製造 .157	工場 .103	ガス .119	供給 .093
海水	.125	未来 .156	合金 .103	効率 .110	装置 .085
計画	.125	化学 .133	実験 .103	技術 .102	ガス .085
太田	.125	装置 .119	ニッケル .087	利用 .089	活用 .076
発表	.125	建設 .119	水素 .086	触媒 .082	CO2 .076

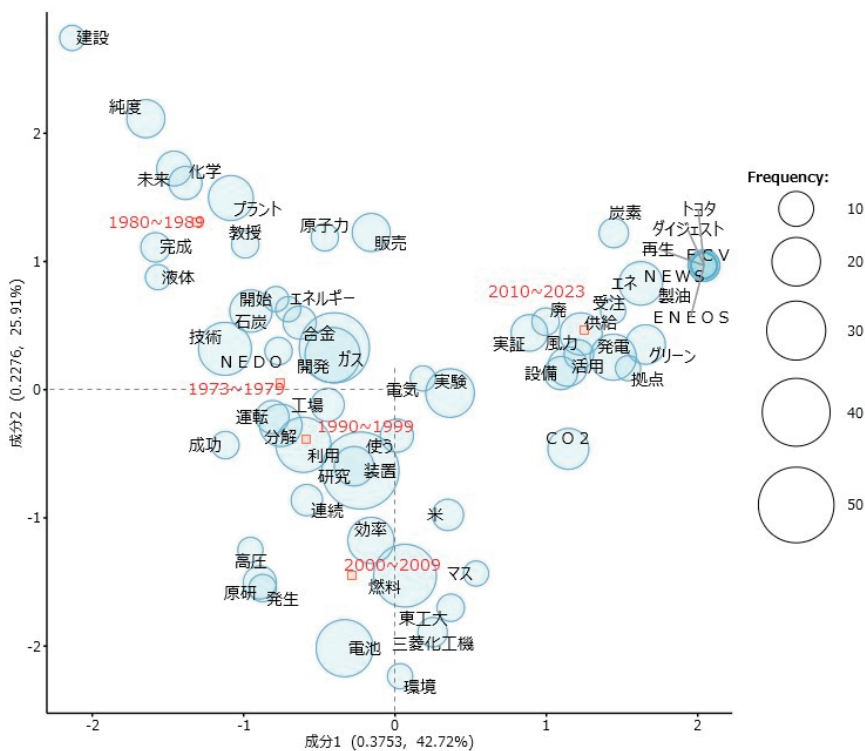


図2 特徴語の対応分析 (製造)

1980~1989年では、「純度、技術、プラント、製造、装置、建設」などの語が特徴語である。高純度水素が注目されており、大手の鉄鋼会社（新日鉄広畑と新日鉄化学など）やエネルギー会社（日石）などによって製造や販売が行われた。また、未来技術として光触媒、有機資源と水、石炭、原子力、洋上風力発電などによる水素製造技術の検討や、水素需要の増加を受け、水素の製造プラントの建設、水素の製造装置の開発・新設・稼働・受注なども行われるようになって

た。1990～1999年の特徴語は「石炭」などである。この時期には石炭を利用した水素の製造が進められていた。2000～2009年の特徴語は「水素、製造、装置、燃料、電池、効率」などである。水素の製造装置の開発や新設、販売などが多くみられており、燃料電池車用の水素の製造、水素製造の効率性の改善なども進められた。2010～2023年の特徴語は「水素、製造、再生、エネ、発電、グリーン、CO₂」などである。水素によるCO₂の削減が注目され、太陽光・風力・水力などの再エネの発電による水素の製造などの取り組みが行われるようになった。

3.2.2 水素の貯蔵

表7と図3に示す水素の貯蔵では、2000～2009年、2010～2023年の2期間が原点から離れており、特徴の高い取り組みが行われているとみられる。各年代の取り組みを見ていくと、1973～1979年では、「金属」などの語が特徴語である。チタンの合金などを使った水素貯蔵用の金属材料の開発などが進められていた。1980～1989年では、「合金、水素、貯蔵、実用、開発」などが特徴語である。水素貯蔵用の合金が大きな注目を浴びる時期で、地域のエネルギーシステムから冷暖房などの家電まで様々な分野での実用化が進められるようになった。また水素貯蔵用合金の改善、蓄電池などの関連製品の開発も行われた。

1990～1999年では、「量産、合金、利用、炭素」などが特徴語である。水素貯蔵合金の量産と水素貯蔵合金（水素を自由に吸着・放出できる）を利用した製品の更なる開発や実用化などが行われていた。また、炭素を使った水素貯蔵の研究も行われた。2000～2009年では、「燃料、電池、水素、貯蔵」などが特徴語である。燃料電池用の水素貯蔵技術の開発や実用化へ取り組み、燃料電池向けの水素燃料圧縮機と水素貯蔵タンクの一体化の取り組みなどが行われた。一方で、燃料電池車向けの水素貯蔵には技術面の壁が大きいことも注目された。2010～2023年では、「エネ、発電、水素、貯蔵」などが特徴語である。再エネによる電気を水素に変換して貯蔵する実験、海外の低コストの再エネを安全に日本に運搬するための水素貯蔵材料の活用、水素で電力を調整することで再エネによる電力供給の安定化を図る取り組み、災害時の自立性電源を目指した水素の生成・貯蔵・発電の一体化の取り組みなどが行われた。

表7 各年代の特徴語（貯蔵）

	1973～1979	1980～1989	1990～1999	2000～2009	2010～2023
金属	.214	合金 .732	量産 .174	燃料 .395	エネ .225
エネルギー	.200	水素 .495	合金 .150	電池 .333	発電 .211
チタン	.182	貯蔵 .495	利用 .125	水素 .174	水素 .189
化物	.167	実用 .218	炭素 .125	貯蔵 .174	貯蔵 .189
科技厅	.167	開発 .205	水素 .112	研究 .125	電力 .180
元素	.167	使う .151	貯蔵 .112	安全 .100	再生 .135
室温	.167	日本 .129	分子 .091	技術 .094	東芝 .135
松下技研	.167	冷暖房 .124	ガス .087	ナノ .088	太陽光 .132
松下電器	.167	システム .108	昇降 .087	圧縮 .086	技術 .109
成る	.167	産業 .100	能力 .077	総研 .083	供給 .105

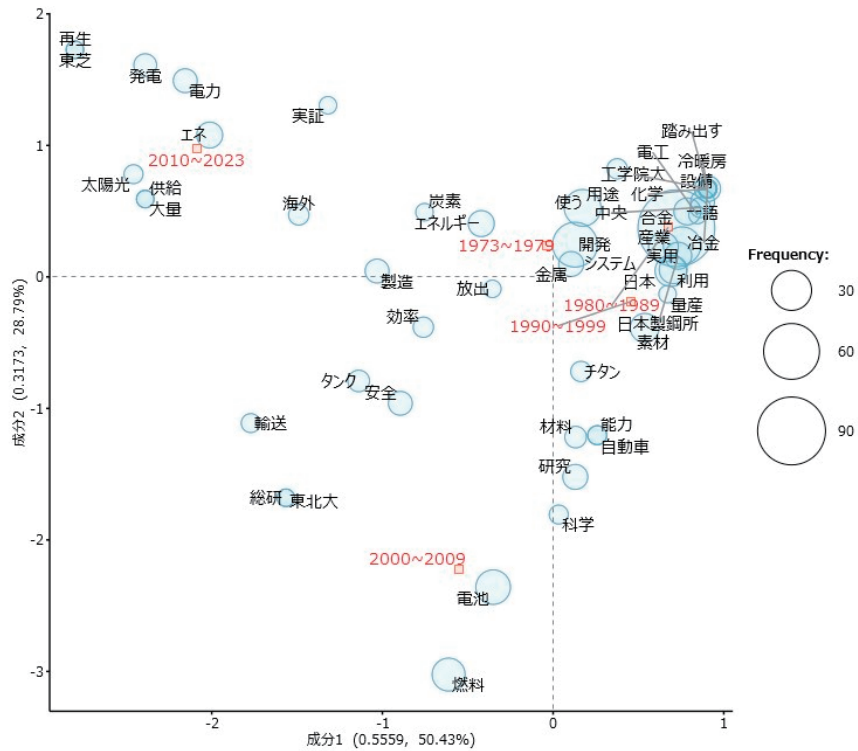


図3 特徴語の対応分析 (貯蔵)

3.2.3 水素の輸送

表8と図4に示す水素の輸送では、1973~1979年、2000~2009年の2期間が原点から離れており、特徴の高い取り組みが行われていると言える。各年代の取り組みを見ていくと、1973~1979年では、「液体」などの語が特徴語である。この時期ではロケット用液体水素の輸送実験が成功したことを受けて、液体水素時代に向けた販売構想が行われて、水素の液体化輸送に向けた調査が実施された。1980~1989年は特徴語がみられておらず、1990~1999年は記事数が0件のため、抽出不可であった。この二つ時期は水素の輸送に関しては目立った取り組みがみられなかったと考えられる。2000~2009年では、「貯蔵、ガス、安全、研究、開発」などの語が特徴語である。千代田化工建設は大量貯蔵・輸送技術の開発で、日経地球環境技術賞の最優秀賞を受賞するなど、水素の輸送が再び社会的に大きな注目を浴びた。燃料電池車向けの水素輸送・貯蔵タンクの開発、燃料水素の安全輸送・貯蔵に関する研究連携、天然ガスパイプラインを水素ガスの輸送に利用する実験などの動きがみられた。2010~2023年では、「水素、輸送、液化、活用」などが特徴語である。液化水素輸送の関連市場の拡大を受け、海上輸送タンクの試験運用、公道配管での水素輸送の実験、燃料電池の原料になる地域における未利用水素の輸送実験、日本企業の連携による豪州での水素の製造・輸送の実証実験などが行われた。また、石油タンクによる常温常圧での水素輸送技術の実用化、CO₂と水素で合成したギ酸を利用した水素輸送の新しい方法の開発と実用化などが行われた。これらの取り組みによって水素輸送コストが大幅に低減されるようになっている。

表8 各年代の特徴語 (輸送)

1980~1989		1973~1979		2000~2009		2010~2023	
クリーン	.333	液体	.667	貯蔵	.333	水素	.761
グループ	.333	クライオジェニックス	.500	ガス	.333	輸送	.761
コストダウン	.333	ロケット	.500	安全	.333	液化	.314
ポーランド	.333	解決	.500	研究	.333	活用	.171
伊	.333	具体	.500	開発	.286	技術	.162
欧州	.333	構想	.500	燃料	.273	実験	.135
完了	.333	時代	.500	電池	.200	燃料	.132
岩谷	.333	成功	.500	技術	.167	コスト	.114
計画	.333	販売	.500	J F E	.167	実証	.114
結ぶ	.333	日本	.200	コンテナ	.167	炭素	.114

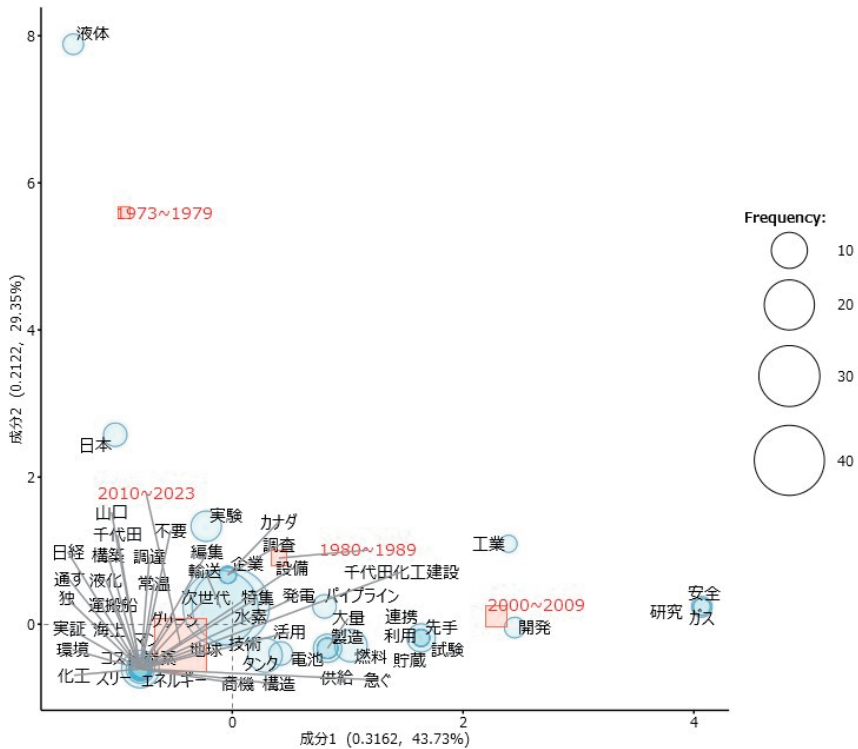


図4 特徴語の対応分析 (輸送)

3.2.4 水素の利用

表9と図5に示す水素の利用では、1973~1979年が原点から離れていて、その他の時期とは異なる特徴がみられた。この時期、企業による水素エネルギー利用を見込んだ水素製造の動きがみられたものの、実質的な水素利用がみられなかった。1980年代と1990年代では、「貯蔵」などが特徴語である。この時期では、水素利用に必要な貯蔵技術が注目され、水素貯蔵合金な

どが開発されたことで、水素の利用に向けた準備が大きく前進した。また、水素などを使って回収した工場排熱による地域暖房の提供、非エネルギー利用として水素を使った洗浄装置などの取り組みがみられた。一方で、水素エネルギーとしての利用の実現は、2000年以降になってからと考える。2000～2009年、2010～2023年の共通の特徴語は、「燃料、電池」で、2000～2009年では、燃料電池車における水素燃料利用の模索、灯油や下水汚泥、廃棄物などからの水素の家庭用燃料電池への利用がみられている。2010～2023年に入ると、水素利用が拡大し、水素を利用した電池技術の向上や、燃料電池車への水素燃料供給がみられており、特に2021年に関西電力の社長が「水素生産と利用基盤を行うことで水素による電力供給を進めていく」と宣言したことなどの動きをみると、近いうちに水素による本格的な利用の時代が来ると期待できる。

表9 各年代の特徴語 (利用)

	1973～1979	1980～1989	1990～1999	2000～2009	2010～2023
横浜国大	.250	合金 .257	実験 .167	水素 .313	水素 .284
金属	.222	貯蔵 .257	合金 .143	利用 .313	利用 .284
太陽光	.200	水素 .224	貯蔵 .143	研究 .167	燃料 .234
チタン	.167	利用 .224	水素 .134	電池 .154	電池 .217
解消	.167	技術 .209	利用 .134	燃料 .148	実証 .125
自然	.167	未来 .125	製造 .132	製造 .136	効率 .116
成功	.167	システム .121	使用 .111	技術 .123	エネ .105
太田	.167	開発 .119	コスト .100	ガス .115	供給 .103
提案	.167	装置 .105	技研 .100	開発 .113	電力 .077
転送	.167	製造 .100	工場 .100	エネルギー .106	東芝 .077

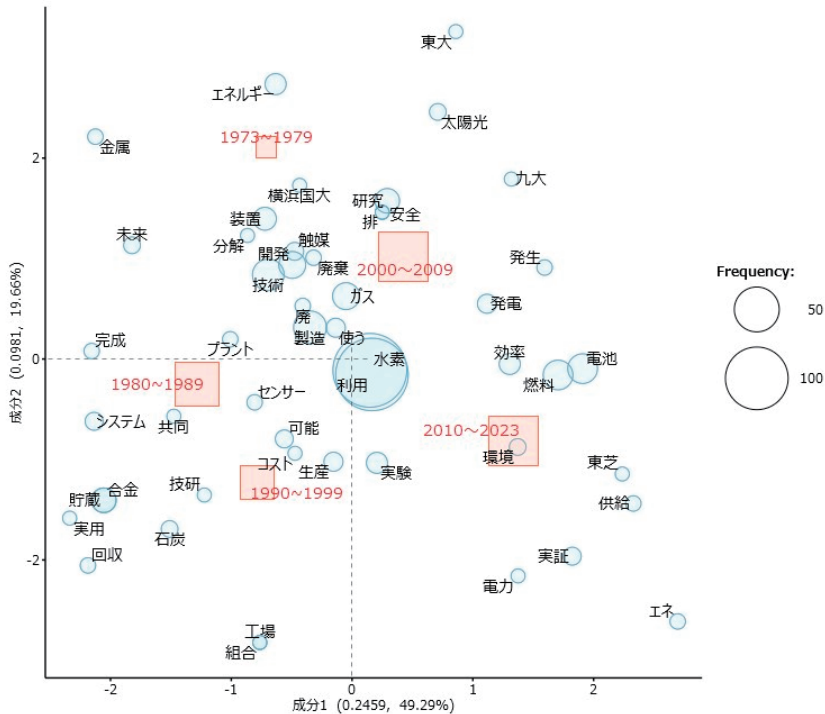


図5 特徴語の対応分析 (利用)

3.2.5 水素の供給網

表10と図6の水素サプライチェーン（供給網）について、2011年以降に現れた語であり、2011年～2020年まで記事の出現件数が10件しかなかったが、2020～2023年で50件も急増している。これを踏まえ、ここでは、2011～2019年と、2020～2023年の2期間に分けて特徴語分析と対応分析を行った。2011～2019年は原点から離れており、特徴の高い取り組みが行われているとみられる。各年代の取り組みを見ていくと、2011～2019年では、「発電、供給網、企業、電池」などの語が特徴語である。水素の製造と発電を一貫にした水素供給網の実証（東芝）、燃料電池車や発電所向けに、風力発電所の余剰電力で水素を生産・精錬する水素サプライチェーンの技術検証（千代田化工建設）、水素利用エネルギーシステムの核心技術に関して世界でも例のない先進的な技術開発の実施（川崎重工業、千代田化工建設など7社）、燃料電池車や燃料電池船向けの供給網の技術検証や実証、トヨタとホンダ、東芝、岩谷産業などの企業連携による供給網の構築（2030年に10万台の燃料電池車は生産段階から供給網を経由する）がみられた。

2021～2023年では、「水素、サプライチェーン、構築、供給網、実証、事業、開始」などが特徴語である。水素サプライチェーンの構築に関する国内外での様々な実証事業が開始されている。例えば、岩谷産業、川崎重工、トヨタ、東芝などが、北海道や宮城などの地域で、液化水素や再エネによる水素のサプライチェーンの構築と実証を開始している。また、グリーン水素（水を再エネで発電した電力を用いて電気分解し、水素と酸素に還元することで生産される水素を指す）の供給網や、水素サプライチェーンをめぐって、多くの日本企業と海外（欧州、豪州、中国）との国際間水素サプライチェーン実証事業を本格的に開始するなどの動きが目立っている。水素サプライチェーンの構築は、国内にとどまらず、国内外で大きく展開されているとみられている。

表10 特徴語（供給網）

	2011～2020		2021～2023
供給網	.323	水素	.836
発電	.300	サプライチェーン	.588
トヨタ	.250	構築	.482
企業	.200	供給網	.344
後押し	.200	実証	.327
電子	.200	事業	.308
風力	.200	開始	.196
電池	.167	向ける	.177
東芝	.167	岩谷産業	.157
燃料	.167	グリーン	.137

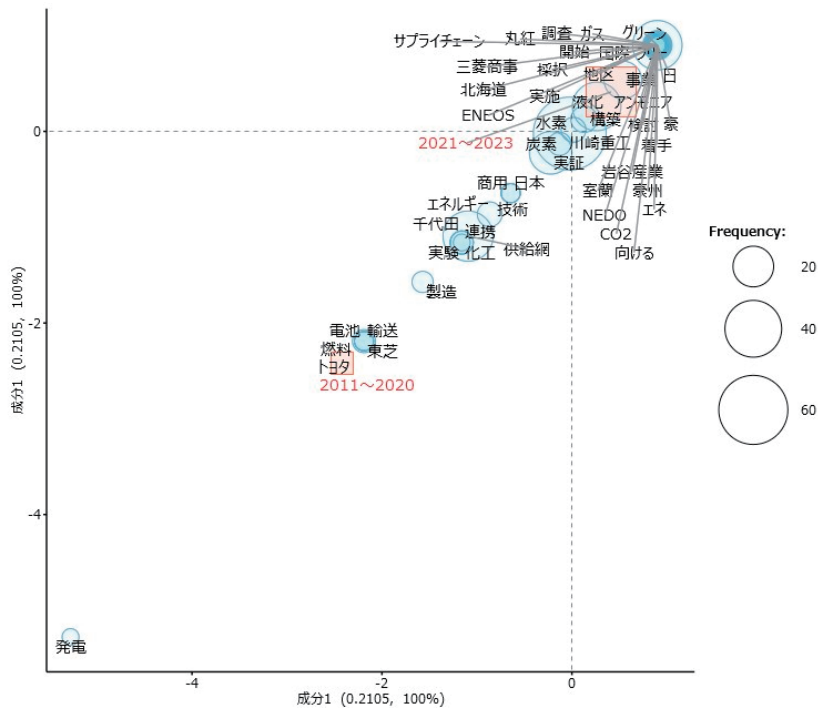


図6 特徴語の対応分析 (供給網)

4. 結言

本研究では、1973年10月1日から2023年10月3日までの日経産業新聞の記事タイトルを用いてテキストマイニングを行い、日本企業による水素事業展開の全体像を概観し、水素サプライチェーンの個々のプロセスにおける企業の年代別の取り組みの特徴および、水素の供給網の構築に関する動向を明らかにした。主な知見は下記の通りである。

日本企業による水素の取り組みは、「液体水素の開発 (1973~1979年) →水素貯蔵用合金の開発 (1980~1989年) →水素利用製品の開発 (1990~1999年) →水素・燃料電池の開発・製造 (2000~2009年) →水素・燃料電池による電力提供の拡大、水素の生成・貯蔵・発電の一体化、発電という形でエネルギー供給システムをめぐって水素活用の増加 (2010~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。その中でも、水素・燃料電池分野に最も力を入れてきたことが分かった。また、水素サプライチェーンの個々のプロセス (製造・貯蔵・輸送・利用) の取り組みの中で、1980年代には貯蔵分野が高い注目を浴びたが、全体的に水素の製造に重心が置かれているということ、また、企業と研究機関が取り組みの主体であるということが分かった。一方で、供給網単位での取り組みについては、大企業が中心となって包括的な水素サプライチェーンの構築が行われていることも分かった。

各年代の水素サプライチェーンの個々のプロセスの特徴について、水素の製造は、「電解による水素製造 (1973~1979年) →高純度の水素製造 (1980~1989年) →石炭による水素製造 (1990~1999年) →燃料電池車用の水素製造 (2000~2009年) →再エネ発電による水素製造 (2010~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。

水素の貯蔵は、「水素貯蔵用の金属材料の開発 (1973~1979年) →水素貯蔵用合金の実用化 (1980~1989年) →水素貯蔵合金の量産とその合金を使った製品の開発と実用化 (1990~1999年) →燃料電池向けの水素貯蔵技術の開発 (2000~2009年) →再エネによる電気の水素貯蔵材料の活用 (2010~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。

水素の輸送は、「ロケット用液体水素の輸送実験の成功、水素の液体化輸送に向けた調査 (1973~1979年) →燃料電池車向けの水素の輸送技術に関する研究開発 (2000~2009年) →液化水素輸送の市場拡大、水素輸送コストの大幅な低減に向けて海上や公道配管などによる水素輸送の実験・運用、ギ酸による水素輸送の開発、常温常圧での水素輸送技術の実用化 (2010~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。

水素の利用は、「実質的な利用のない期間 (1973~1979年) →水素貯蔵合金の開発成功に伴う水素の利用の準備 (1980~1989年、1990~1999年) →燃料電池車への水素燃料利用への模索、再エネによる水素の家庭用燃料電池への利用 (2000~2009年) →水素の利用の拡大、燃料自動車への水素燃料供給、水素による電力供給の開始 (2010~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。

水素の供給網は、「再エネによる水素の製造と発電の供給網の技術検証、水素利用エネルギーシステムの技術開発、(2010~2019年) →供給網の構築に関する国内外・国際間の供給網の実証事業の実施 (2020~2023年)」という流れで発展してきたことが分かった。

ただし、本研究の知見は、日経産業新聞の記事タイトルに対する分析に限定したものであり、今後、記事本文を含めた詳細な分析も行っていきたいと考える。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金基盤C (21K12347) および『課題設定による先導的人文学・社会科学的研究推進事業』(学術知共創プログラム)「重層的アクターの協調を生み出す気候変動ガバナンスの構築—低炭素水素事業に着目して」の一環として実施した。

参 考 文 献

- 1) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 (2017.12.26)「水素基本戦略」.
- 2) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 (2023.06.06)「水素基本戦略」.
- 3) 加藤久, 大山達也, 松本博, 真島洋一, 久保田和人, 橘高大吾 (2019)「水素製造システムによる再生可能エネルギーの出力変動抑制」, 日本エネルギー学会機関誌エネルギーミックス, 98巻3号, 248-254.
- 4) 川上義明, 岡本英之, 高橋淳, 伊藤博, 前田哲彦, 赤井誠 (2006)「トータル水素エネルギーマネジメントシステムにおける水素吸蔵合金タンクの特性に関する研究」, 空気調和・衛生工学会論文集, 31巻116号, 21-30.
- 5) 白土博康, 濱田靖弘, 須田孝徳, 坂入正敏, 岡喜秋, 林宏樹, 池田英明, 長野克則 (2011)「水素吸蔵合金と空気熱交換式容器を用いた住宅・自立電源用水素貯蔵システムに関する研究: 第3報-パッシブ型水素貯蔵システムの住宅用燃料電池コージェネレーションシステムへの導入分析」, 空気調和・衛生工学会論文集, 36巻171号, 1-7.

- 6) 相馬和夫, 玉村拓史, 中島康政, 水向健太郎, 平井広樹, 中島康裕, 新井祐介, 横山清秀, ソニア・ワイルド (2022) 「褐炭からの水素製造・輸送・貯蔵のサプライチェーンの構築」, 安全工学会誌, 61巻6号, 390-395.
- 7) 岡野一清 (2000) 「WE-NETプロジェクトにおける水素利用技術の開発」 圧力技術, 38巻5号, 290-297.
- 8) 大槻貴司, 小宮山涼一, 藤井康正 (2019) 「発電・自動車用燃料としての水素の導入可能性: 地域細分化型世界エネルギーシステムモデルを用いた分析」, 日本エネルギー学会誌, 98巻4号, 62-72.
- 9) 瀬川祐太, 沼田茂雄, 下田英介, 遠藤成樹, 前田哲彦 (2021) 「ゼロエミッションビルへの水素利用システム導入に関する検討」, 電気学会論文誌, 141巻2号, 88-96.
- 10) 花田卓爾 (2000) 「液体水素の製造・貯蔵・輸送」, 水素エネルギーシステム, 25巻2号, 19-29.
- 11) 相馬一夫, 玉村琢之, 吉山孝, 水向健太郎, 平井宏宜, 中島康広, 新井祐介, 横山清英, ワイルドソニア (2023) 「世界初, 褐炭から製造した水素を液化水素運搬船で海上輸送・荷役する実証試験の完遂」, 日本エネルギー学会機関誌, 102巻4号, 413-419.
- 12) 中嶋朋子 (2023) 「国際水素サプライチェーンの構築に向けた川崎重工業の取り組みについて」, 水素エネルギーシステム, 48巻1号, 52-57.
- 13) 中田洋行 (1981) 「水素エネルギー技術の現状と将来」, 圧力技術 (JHPI), 19巻1号, 31-43.
- 14) 資源エネルギー庁 (2023) 「水素社会の実現に向けた現状と戦略」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 54巻5号, 31-43.
- 15) 角鹿誠真, 内山洋司, 岡島敬一, 村田謙二 (2012) 「マトリックス法を用いた製油所副生水素の環境負荷分析」, エネルギー・資源学会論文誌, 33巻1号, 23-31.
- 16) 工藤祐揮 (2016) 「水素エネルギーをLCAの視点から俯瞰する」, 日本LCA学会誌, 12巻3号, 180-189.
- 17) 日経産業新聞 (1973.10.1~2023.10.03) (日経テレコン21: <http://t21.nikkei.co.jp/g3/CMN0F12.do> (2023.10.03参照)).
- 18) 樋口耕一 (2020) 『社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して—第2版』, ナカニシヤ出版.

Features and Transition of Hydrogen Supply Chain Development in Japanese Companies: Text Mining Analysis Using Nikkei Business Daily

In this study, we conducted text mining using article titles from “Nikkei Business Daily” from 1973 to 2023 to provide an overview of the hydrogen business development by Japanese companies and clarify the features and transition of the hydrogen supply chain (manufacturing, storage, transportation, and utilization), as well as trends in the construction of hydrogen supply chain networks.

As a result, the process of hydrogen business development by Japanese companies is as follows: Development of liquid hydrogen → Development of hydrogen storage alloys → Development of hydrogen utilization products → Development and manufacturing of hydrogen and fuel cells → Expansion of electricity provision by hydrogen and fuel cells. The hydrogen supply chain as a whole has been focused on hydrogen production, with hydrogen and fuel cells being the most focused area, and the supply chain has been driven by large companies.

[そん えい 横浜国立大学大学院国際社会科学研究院・経営学部教授]

[ざいま けいこ 京都産業大学経営学部教授]

[2023年11月20日受理]

