

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	船舶燃料における硫黄分の規制強化とその課題
他言語論題 Title in other language	Strengthening Regulations on Sulfur Content in Ship Fuel and the Issues Involved
著者 / 所属 Author(s)	須藤 晋 (Sudo, Susumu) / 国立国会図書館調査及び立法考査局専門調査員 国土交通調査室主任
雑誌名 Journal	レファレンス (The Reference)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
通号 Number	821
刊行日 Issue Date	2019-06-20
ページ Pages	23-43
ISSN	0034-2912
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	2020年1月から一般海域でのSOx規制が強化される。規制強化前後の船舶の安定運航を万全とするために、石油業界、海運業界等の調整役を担う国土交通省の役割は重大である。

* 掲載論文等は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 意見にわたる部分は、筆者の個人的見解であることをお断りしておきます。

船舶燃料における硫黄分の規制強化とその課題

国立国会図書館 調査及び立法考査局
専門調査員 国土交通調査室主任 須藤 晋

目 次

はじめに

I 海洋汚染防止条約—硫黄分濃度規制—

- 1 国際海事機関（IMO）
- 2 海洋汚染防止条約
- 3 大気汚染の防止のための規則

II 船舶燃料油の製造

- 1 石油精製法
- 2 A重油・C重油の製造
- 3 規制適合油の製造
- 4 規制適合油の性状—国土交通省による調整—

III 燃料油以外の SO_x 規制対応策

- 1 新燃料（LNG等）による対応策
- 2 燃料以外の対応策

IV 今後の課題

- 1 燃料油切替えの課題
- 2 スクラバー排水の課題

おわりに

キーワード：海洋汚染防止条約、SO_x 規制、船舶燃料、スクラバー、予防原則

要 旨

- ① 2020年1月から一般海域での船舶燃料油の硫黄分濃度の上限が、3.5%から0.5%に強化される（SO_x規制）。SO_x規制は、海洋汚染防止条約の附属書VI「船舶による大気汚染の防止のための規則」に定められている。採択は1997年、発効は2005年で、一般海域での硫黄分濃度規制は、発効当初は4.5%であったものが、2012年に3.5%、2020年から0.5%と段階的に強化されている。2020年からの規制強化は、一気に硫黄分濃度を7分の1にするもので、海運業界・石油業界を始め、石油製品を消費する多くの業界に影響を与える。当論文が掲載される2019年6月時点で6か月余りを残しているが、具体的な準備作業を考えると、時間的余裕は少ない。
- ② 船舶燃料油は、連産品である石油製品の一部であり、石油精製の体系を、船舶燃料だけのために変更することは容易ではない。規制開始後、石油業界は、SO_x規制に適合した船舶燃料油（規制適合油）を製造・販売するであろうが、その供給量や性状が、既往の船舶燃料油であったC重油と同レベルである保証はなく、仕様の国際規格（ISO）も存在しない。国土交通省は、国際規格が公表されるまでの間の混乱を避けるべく、石油業界と海運業界間の情報交換、調整を図っている。
- ③ 燃料油以外のSO_x規制対応策として、新燃料（LNG等）による対策と排ガス浄化装置（スクラバー）による対策がある。LNG燃料船は、量的普及はまだ世界中で数百隻にとどまり、LNG燃料を供給するインフラが整う時期も不透明である。当面は、スクラバーの搭載が現実的な対応となるが、スクラバーには、排ガスを洗浄した液体を船外（海洋）に排出する際に海洋を汚染する懸念がある。我が国では、国土交通省が環境省・水産庁と連携し、海生生物、海洋環境などの専門家から成る調査会を設置し、調査・検証を行い、スクラバー排水による海洋環境への悪影響はないとの結論を得ている。
- ④ スクラバーを搭載する船舶が、高硫黄のC重油を一定期間使用し続けることで、規制開始時の海運業界・石油業界等への影響を緩和することができると期待されているが、諸外国の中には、海洋汚染への懸念から自国内の海域でスクラバーの排水禁止を決めた国が幾つかある。政府は、上記調査会が行った調査・検証を基に、スクラバーからの排水が海生生物や水質へ影響を及ぼす可能性は著しく低いことを諸外国に丁寧に説明し、国際社会の理解を得て規制の調和を実現することを目指しており、今後の動向が注目される。

はじめに

国際海事機関 (International Maritime Organization: IMO)⁽¹⁾ は、第 70 回海洋環境保護委員会 (Maritime Environment Protection Committee: MEPC)⁽²⁾ を 2016 年 10 月 24 日から 28 日まで開催し、船舶燃料油の硫黄分濃度規制 (以下「SOx 規制」)⁽³⁾ の強化 (燃料油の硫黄分濃度の上限値 3.5% → 0.5%) を 2020 年 1 月から開始すること等を決定した⁽⁴⁾。

SOx 規制は、NOx 規制⁽⁵⁾ や EEDI (Energy Efficiency Design Index. エネルギー効率設計指標) 規制⁽⁶⁾ のように新しく造る船に対してのみ規制をかける船の新陳代謝に合わせた方法ではなく、既存船を含む全ての航行船が使用する燃料油中の硫黄分濃度を規制するという方法をとるため、規制を強化した時点で海運業界のみならず、燃料を供給する石油業界にも多大な影響を与えることが予想される。

SOx 規制の大枠は、2008 年 10 月に開催された第 58 回 MEPC で採択されていたが、その時点では、強化された規制に適合する燃料油 (以下「規制適合油」) の供給可能性次第では、一般海域での強化開始時期を 2025 年とする余地も残されていた。しかし、第 70 回 MEPC で規制適合油は十分供給可能であると判断され、前述のとおり 2020 年 1 月開始と決定された。

2020 年 1 月という、まだ準備する時間は十分にあるように感じられるが、後述するように、船舶の燃料切替えのため燃料タンクに規制適合油を補油し始めるのは 2019 年の秋頃であり、それまでに、供給側の石油業界と需要側の海運業界の間で、規制適合油の性状、価格等を詰めなければならない。

また、大手コンテナ船社が現在使用している燃料と規制適合油の価格差による増大費用分を、荷主に負担してもらうための運賃体系の見直し交渉は、すでに始まっている⁽⁷⁾。2019 年 1 月からそのための燃料調整金 (Bunker Adjustment Factor: BAF)⁽⁸⁾ を導入した大手コンテナ船社もある⁽⁹⁾。

本稿は、海事・船舶の国際ルールを定める役割を担う組織である IMO が、船舶燃料油の SOx 規制を定めるに至る経緯と現状を述べ、規制実施に関する課題について考察する。

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2019 年 4 月 17 日である。

- (1) IMO は、海上輸送の安全、船舶からの海洋汚染防止等、海事分野の諸問題についての政府間の協力を推進するために設立された国連の専門機関である。
- (2) MEPC は、IMO を構成する委員会の一つで、船舶による環境汚染の防止・規制に係る事項の検討を行う。特に、海洋汚染防止条約を始めとする条約その他の規則の採択及び改正の審議を行う。
- (3) SOx (硫黄酸化物) は、石油や石炭など硫黄分が含まれる化石燃料が燃えるときに発生し、喘息や酸性雨の原因になる。SOx の排出を減らすための技術には、あらかじめ燃料に含まれる硫黄分を取り除く燃料脱硫や、燃焼ガスから硫黄酸化物を取り除く排ガス脱硫などがある。〔排出物質：硫黄酸化物 (いおうさんかぶつ)〕『大気環境の情報館』環境再生保全機構ウェブサイト <https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/kids/aozora/haisyutu_05.html>
- (4) 「国際海事機関、世界の全海域での船舶燃料油の硫黄分規制を 2020 年から強化—国際海事機関第 70 回海洋環境保護委員会の審議結果について—」2016.10.31. 国土交通省ウェブサイト <http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000058.html>
- (5) NOx (窒素酸化物) は、物が高い温度で燃えたときに、空気中の窒素と酸素が結びついて発生する一酸化窒素 (NO) と二酸化窒素 (NO₂) などのことをいう。NOx は、光化学スモッグや酸性雨の原因となり、特に二酸化窒素は、高い濃度の時に人の呼吸器に悪い影響を与える。〔排出物質：窒素酸化物 (ちっそさんかぶつ)〕『大気環境の情報館』環境再生保全機構ウェブサイト <https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/kids/aozora/haisyutu_04.html>
- (6) EEDI とは、1 トンの貨物を 1 マイル運ぶのに必要な CO₂ のグラム数を表す指標。国際海運部門における温室効果ガス削減対策の一環である EEDI 規制は、新造船への CO₂ 排出基準適合を義務化するものである。
- (7) 「コンテナ船 燃油費転嫁へ 環境対応コスト別建てに」『日本経済新聞』2018.12.7.
- (8) 燃料費の高騰に伴う海上運賃の割増料。割増料には BAF のほか CAF (為替調整金) がある。
- (9) 「MSC CMA-CGM 新 BAF 概要公表 19 年 1 月から 新規制に対応」『日本海事新聞』2018.12.6.

I 海洋汚染防止条約—硫黄分濃度規制—

船舶の大半はディーゼルエンジンで動いている。国際航海をする大型船舶の推進用プロペラを回転させる主機関は、低速で回転する2ストロークエンジンで、熱効率が、単独の熱機関としては最高といえる50%に達する。また、常温では流動しない高粘度のC重油（後述）をあらかじめヒーターで熱することにより粘度を低下させエンジン内を流動させている。石油の連産品⁽¹⁰⁾の一つであるC重油は、主成分が石油精製の残渣である残渣油であり、石油製品の中では、比較的安価に入手できる油種である⁽¹¹⁾。

船舶のエンジンは、高い温度で燃料を燃焼させることで高効率を得ており、その結果としてNO_xの生成量が他の熱機関と比較して多い。また、残渣油は硫黄分を多く含み、その燃焼生成物であるSO_xも多く排出する。近年、大気汚染への関心が高まり、陸域から遠い洋上での排出に対しても規制が求められるようになってきたため、船用ディーゼルエンジンの大気汚染対策が大きな課題となっている⁽¹²⁾。

1 国際海事機関 (IMO)

IMOは、船舶の安全、海洋汚染防止、海難事故発生時の適切な対応、被害者への補償、円滑な物流の確保などの様々な観点から、船舶の構造や設備等の安全基準、積載限度に係る技術要件、船舶からの油、有害物質、排ガス等の排出規制（地球温暖化対策を含む。）等に関する条約、基準等の作成や改定を随時行っている⁽¹³⁾。

これまでに作成された主な条約には、船の構造、救命設備、無線設備等の基準を定めた「海上における人命の安全のための国際条約」、貨物の積載限度に関する「満載喫水線に関する国際条約」、船舶の運航に起因する汚染防止のための「海洋汚染防止条約」、国際航海に従事する船舶の入出港に関する手続を簡易化する「国際海上交通の簡易化に関する条約」等がある⁽¹⁴⁾。

船舶燃料油のSO_x規制の規則は、上記条約のうち海洋汚染防止条約の附属書VI「船舶による大気汚染の防止のための規則」の中に定めがある。次に大気汚染の原因物質の一つであるSO_xに関する規則が、どのように海洋汚染防止条約に組み込まれていったのか、経緯と概要について述べる。

2 海洋汚染防止条約

(1) 「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約」の採択

船舶から排出される油による海洋汚染防止については、1954年に採択（発効は1958年）された油濁防止条約（International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil. OILPOL条約）に

(10) 「同一原料を同一工程で加工して、主副の関係がない2種以上の製品が生産される場合の生産品のこと。米の精白工程で得られる精白米は主産物であり、同一工程でできるぬかは副産物である。このような関係でなく、石油化学工業で原油を分留し、かつ化学的精製を行う場合、同一工程からガソリン、燈油（ママ）、軽油、重油などが生産されるが、これらの製品間には主副の関係はない。この際の製品を連産品という。一般に連産品が多いほどその工程は能率的である。」（「連産品」『ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典 6（ホエーワン）』ティビーエス・ブリタニカ、1974、p.851.）

(11) 千田哲也「海洋汚染防止条約と船舶用燃料の動向」『ペトロテック』38(1)、2015.1、p.2.

(12) 同上

(13) 「国際海事機関 (IMO) 概要」2016.1.26. 外務省ウェブサイト <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/imo/>>

(14) 同上

より一定の国際的規制が行われてきた。我が国は1967年に同条約に加入し、これに基づいて「船舶の油による海水の汚濁の防止に関する法律」（昭和42年法律第127号）が制定された。

その後、沿岸国の海洋環境保護に関する関心が高まってきたこと、油以外の有害・危険物質を海上輸送する機会が増えたこと等を背景として、油濁防止条約で規制対象としていた油の範囲を重質油だけでなく全ての油に拡大するとともに、有害液体物質、個品危険物、汚水や船内廃棄物等も新しく規制対象に含めることによって、海洋汚染を総合的に防止するための包括的な規制の必要性が広く認識されるようになってきていた⁽¹⁵⁾。

そのような中、1970年前後に大型タンカーによる事故が何件か起きた。代表的な事故は、1967年3月、英仏海峡で起きた「トリー・キャニオン号事件」⁽¹⁶⁾で、この事故を契機に油による海洋汚染防止が重要視され、国連総会でも取り上げられた。これを受けてIMOの前身である政府間海事協議機関（Inter-governmental Maritime Consultative Organization: IMCO）は「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約（International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973: MARPOL73）」を作成、条約本文と五つの附属書が採択された⁽¹⁷⁾。この条約は、後述するように1973年に採択された内容のままでは、効力発生のための要件⁽¹⁸⁾を満たすことができず、発効することはなかった。

(2) 1978年の議定書

1978年2月17日、「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書（Protocol of 1978 relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973: MARPOL73/78）」が採択された。一般にこの議定書のことを「海洋汚染防止条約」と呼んでいる。

1973年に採択されたMARPOL73が効力発生のための要件を満たすのを待つ間に、1976年12月に発生した「アルゴ・マーチャント号事件」⁽¹⁹⁾とその後の大型タンカー事故の続発を受けて、海洋汚染防止のため、タンカーの構造、設備の強化とMARPOL73の早期発効を求める動きが活発化した。これに伴う見直し作業の末、1978年にロンドンで開催された「タンカーの安全及び汚染の防止のための国際会議」において、タンカーの構造設備規制を強化する等の修正を行った上でMARPOL73を実施することとした。その結果、1973年条約と1978年議定書が一体化した条約（MARPOL73/78）が、海洋汚染防止に関する国際的な検討の集大成として採択さ

(15) 谷弘「海洋汚染防止条約採択の舞台裏—採択から四〇周年を迎えて—」『海事史研究』70号、2013.11、pp.48-49.

(16) 1967年3月18日、リベリア船籍トリー・キャニオン（Torrey Canyon）号は、クウェート原油117,000トンを積載して、ペルシャ湾から英国ミルフォード・ヘブンに向けて航行中、シリー諸島沖のセプンストーンズ岩礁に乗り上げた。貨物タンクが破損し、大量の原油が流出した。英国政府は、油濁防止のため海軍の艦艇等を出動させ、油処理剤の散布等の作業を行ったが、大量の流出油に対して十分な効果を上げることができず、3月28日から3日間、海軍爆撃機をもって船体を爆撃し同船を破壊するとともに、船内の残油を焼却する措置をとった。しかし、流出した大量の原油はその後、英国の南西部にとどまらず、フランスのブルターニュ地方まで漂着して海岸を汚染し、魚介類、海鳥類等に多大な被害をもたらした。（日本海事センター編『海洋法と船舶の通航 改訂版』成山堂書店、2010、pp.126-127.）

(17) 本橋大義『IMO条約の解説』内航ジャーナル、1992、p.5.

(18) この条約は、15以上の国であってその商船船腹量の合計が総トン数で世界の商船船腹量の50%に相当する商船船腹量以上となる国が締約国となった日の12か月後に、効力を生ずる。（国土交通省総合政策局海洋政策課監修『海洋汚染防止条約 MARPOL 英和対訳 2017年改訂版』海文堂出版、2017、pp.64-67.）

(19) 1976年12月15日、リベリア船籍アルゴ・マーチャント（Argo Merchant）号は、重油約28,000キロリットルを積載して、ベネズエラから米国マサチューセッツ州のセーラム港向け航行中、米国東海岸ナンタケット島沖の浅瀬に座礁した。沿岸警備隊は、流出油の防除のため、積荷重油の瀬取り（洋上での他船への積替え）を試みたが、荒天に阻まれ有効な防除措置が取られないまま、12月21日、船体は真二つに折損し、大量の重油が流出した。（海上保安庁警備救難部救難課「アルゴ・マーチャント号油流出事故」『海と安全』11(4)、1977.4、p.22.）

れ、1983年に効力発生のための要件を満たし発効した⁽²⁰⁾。

我が国は、海洋汚染防止条約に1983年に加入し、国内法である「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」(昭和45年法律第136号)(当時。現在の法律名は「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」)を改正して、規制対象を拡大すること等により海洋汚染の防止に取り組んだ。

3 大気汚染の防止のための規則

(1) 1997年の議定書

海洋汚染防止条約は、その成立の契機が大型タンカーの原油流出事故であったこともあり、採択当初は、附属書はIからVまで⁽²¹⁾であり、大気汚染に関する規則はなく、あくまで海洋汚染を防止するための条約であった。

当時陸上の大気汚染については、1985年に国連欧州経済委員会(United Nations Economic Commission for Europe: UNECE)によりSO_xの30%削減を定めたヘルシンキ議定書が採択され、1987年に発効した。さらに1994年にSO_x削減について国別に目標量を定めたオスロ議定書が採択され、1998年に発効するなど、長距離越境大気汚染条約⁽²²⁾の補足・強化が行われていた。

そのような状況下、船舶からの排出ガスを規制する動きは、1988年の第26回MEPCにおいて、船舶の大気汚染問題を検討課題とすべきとの提案が、ノルウェーからなされたことに始まる。これを受けてIMOで審議が開始され、1997年9月26日、「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書によって修正された同条約を改正する1997年の議定書」(以下「1997年の議定書」)が採択された。この段階で、附属書VI「船舶による大気汚染の防止のための規則」が海洋汚染防止条約に加わった。附属書VIの中には、NO_x、SO_xの規制のほか、オゾン層破壊の原因となるフロン、ハロン類、タンカー等からの揮発性有機化合物の排出及び船上焼却炉からの排ガスに関する規制も含まれている⁽²³⁾。

SO_x規制は、附属書VIの「第14規則 硫黄酸化物(SO_x)及び粒子状物質」に定められている。規則名からは、排ガス中のSO_xを制限するように読めるが、排ガスに含まれるSO_xの量は、燃料油に含まれる硫黄分濃度に依存するため、規則の内容は、燃料油中の硫黄(S)の含有率を制限するものとなっている⁽²⁴⁾。

これは、附属書VIの第13規則で定めるNO_x規制が、エンジン機関の定格回転数に応じ、定格出力当たりの窒素酸化物の排出量を制限している⁽²⁵⁾のと比べ対照的である。窒素酸化物は、

⁽²⁰⁾ 藤田友敬「海洋環境汚染」落合誠一・江頭憲治郎編『海法大系』商事法務、2003、p.85;「運輸白書 昭和58年度」国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/transport/shouwa58/ind010302/frame.html>>

⁽²¹⁾ 附属書I「油による汚染の防止のための規則」、附属書II「ばら積みの有害液体物質による汚染の規制のための規則」、附属書III「容器に収納した状態で海上において運送される有害物質による汚染の防止のための規則」、附属書IV「船舶からの汚水による汚染の防止のための規則」、附属書V「船舶からの廃物による汚染の防止のための規則」(国土交通省総合政策局海洋政策課監修 前掲注⁽¹⁸⁾, pp.131, 383, 519, 531, 569.)

⁽²²⁾ 国連欧州経済委員会による越境大気汚染に関する国際条約。 (“1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution.” UNECE Website <<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1979.CLRTAP.e.pdf>>) 1979年締結、1983年発効。加盟国に対して、酸性雨等の越境大気汚染の防止対策を義務付けるとともに、酸性雨等の被害影響の状況の監視・評価、原因物質の排出削減対策、国際協力の実施、モニタリングの実施、情報交換の推進などを定めた。(「長距離越境大気汚染条約」『EIC ネット環境用語集』環境イノベーション情報機構ウェブサイト <<http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=1764>>)

⁽²³⁾ 「船：引合から解船まで一用語解説5—」『らん』48号、2000.7、p.35.

⁽²⁴⁾ 国土交通省総合政策局海洋政策課監修 前掲注⁽¹⁸⁾, pp.638-641.

⁽²⁵⁾ 同上, pp.628-639; 国土交通省海事局『海事レポート 2018』2018, p.60. <<http://www.mlit.go.jp/common/001244921.pdf>>

空気中の窒素と酸素が燃焼過程で反応して生成するのであって、燃料油に含まれる窒素分濃度に依存しない。

上記の規制方法の違いから、NO_x 規制は、新造船にのみ適用され、議定書の発効日以前に建造された既存船には適用されないが、SO_x 規制は、既存船を含む全ての航行船が使用する燃料油に一斉に適用されるという差を生み、規制が海運業界に与える影響に大きな差が生じることとなった。

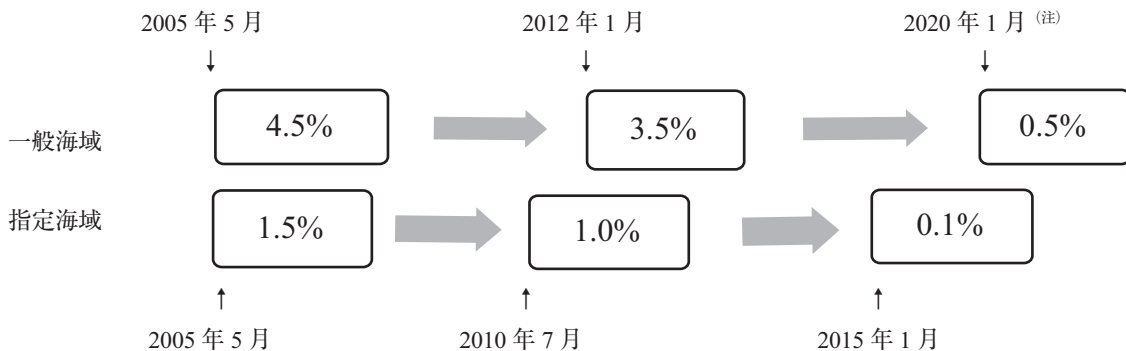
1997年の議定書が発効要件を満たし実際に発効するまで約7年8か月を要し、発効日は2005年5月19日であった⁽²⁶⁾。

(2) 条約附属書Ⅵ改正案

前述のように、船舶からの排出ガス中のSO_x等による大気汚染の防止については、海洋汚染防止条約附属書Ⅵに規定され、附属書Ⅵが発効した2005年5月から規制が実施されていた。規制値は附属書Ⅵが採択された1997年当時の技術水準に基づき設定されていたが、その後の技術水準の向上を踏まえて、規制を見直すことが可能になった。このため、2005年7月に開催された第53回MEPCにおいて、規制の見直しを開始すること及び見直しを行う際の検討項目が合意され、2008年10月に開催された第58回MEPCにおいて附属書Ⅵ改正案が採択された⁽²⁷⁾。

改正案は、船舶の燃料油に含まれる硫黄分の規制値を段階的に強化していくものである。図1のとおり、一般海域と指定海域に分けて規制値を設定し、一般海域では2012年に硫黄分3.5%、2020年に硫黄分0.5%以下の燃料油使用を義務化することとした⁽²⁸⁾。

図1 海洋汚染防止条約改正によるSO_x規制の段階的強化
(燃料油の硫黄分濃度の上限値)



(注) 2008年条約改正時においては、規制強化時期を5年間延期することもあり得る見直し条項があったが、2016年10月の第70回MEPCで規制強化時期が審議され、2020年1月規制強化で確定した。

(出典) 経済産業省・国土交通省「SO_x規制の概要と3つの手段」(燃料油環境規制対応連絡調整会議(第1回)資料2) 2017.3.17, p.1. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001176509.pdf>> を基に筆者作成。

IMOが承認した指定海域(Emission Control Areas: ECA)は現在、図2に示す北海・バルト海海域及び北米・米国カリブ海海域である。これらの海域では、2015年1月から硫黄分0.1%以下という厳しい規制が実施されている。

⁽²⁶⁾ 国土交通省総合政策局海洋政策課監修 前掲注⁽¹⁸⁾, p.12.

⁽²⁷⁾ 「国際海事機関(IMO)第58回海洋環境保護委員会(MEPC58)の審議結果について」2008.10.14. 国土交通省ウェブサイト <http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000003.html>

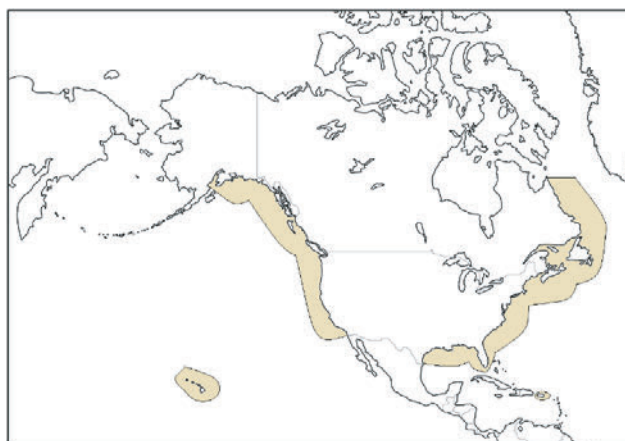
⁽²⁸⁾ 「改正MARPOL条約附属書Ⅵの概要」(国際海事機関(IMO)第58回海洋環境保護委員会(MEPC58)の審議結果について 別紙1) 2008.10.14. 同上 <<http://www.mlit.go.jp/common/000025280.pdf>>

図2 IMO が承認した指定海域 (ECA)

北海・バルト海海域



北米・米国カリブ海海域



(出典) 「SO_x 規制の概要と3つの手段」(燃料油環境規制対応連絡調整会議 (第1回) 資料2) 2017.3.17, p.1.
国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001176509.pdf>> を基に筆者作成。

(3) 規制強化時期 (2020年1月) の決定

前述のとおり、2008年の第58回MEPCにおいて、一般海域での硫黄分0.5%規制は、2020年1月開始と定められた。ただし、一般海域を航行する既存船を含む世界中の大部分の船舶が使用する燃料を切り替えることは、一朝一夕にできることではない。2020年において硫黄分0.5%以下に適合する燃料油が十分に供給できない可能性があることを受け、2018年までに規制適合油の需給調査のレビューを行い、その結果によっては、規制強化時期を2025年に延期する見直し条項が付されていた⁽²⁹⁾。そのために、燃料の市場動向や低硫黄燃料の需給を予測するための調査が2015年秋からIMOが指定した調査機関⁽³⁰⁾により実施された。

調査機関では、低硫黄C重油(硫黄分0.3%)をベースとするブレンド油を主体に規制適合油が供給されると想定し、ベースとなる低硫黄C重油は、製油所が新たな設備を導入しなくても精製プロセスの変更で十分な量を生産できると報告した⁽³¹⁾。

これに対して国際石油産業環境保全連盟(International Petroleum Industry Environmental Conservation Association: IPIECA)⁽³²⁾は、必要な低硫黄燃料を2020年時点で供給するのは困難とする意見書を第70回MEPCに提出し、バルチック国際海運協議会(Baltic and International Maritime Council: BIMCO)⁽³³⁾がこれを支持した。規制適合油を増産するには製油所において水素化脱硫設備の大

⁽²⁹⁾ 「SO_x 排出の国際規制(燃料油の硫黄分濃度規制)の概要」(別添 第70回海洋環境保護委員会(MEPC70) 審議概要(別紙)) 2016.10.31. 同上 <<http://www.mlit.go.jp/common/001150670.pdf>>

⁽³⁰⁾ オランダの環境総合コンサルタントであるCE Delftを中心とするコンソーシアム。

⁽³¹⁾ 「船舶燃料に一大転換点 SO_x 規制強化、一般海域で20年に開始」『COMPASS』217号, 2017.1, p.9.

⁽³²⁾ 1974年に設立された石油産業界の環境問題を取り扱う機関で、国連との意見調整を行っている。(石油学会編『石油辞典 第2版』丸善出版事業部, 2005, p.31.)

幅な増強が必要となり、精製設備の追加設置が間に合わないとして、2020年の開始は困難とする報告をした⁽³⁴⁾。

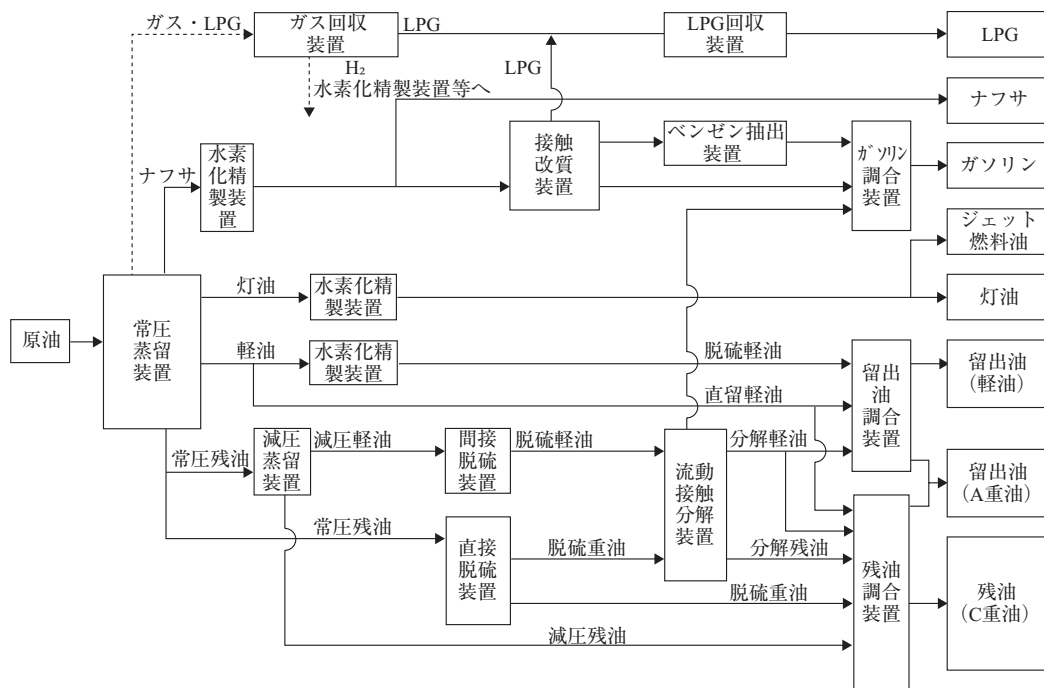
最終的には、IMOが設置した専門家部会による世界の船舶燃料油需給調査の結果と、第70回MEPCでの各方面の意見を踏まえた審議を経て、2020年1月実施が決定された。「可能」、「困難」と意見が分かれた背景として、石油業界では、ある特定の油種のみを急に増産することは困難であるという事情がある。石油製品は連産品であることから特定の油種の比率を上げると、他の石油製品の供給に影響が出る可能性がある。次章において、A重油、C重油などの燃料油種のほか、連産品である石油製品の特質の理解のため、燃料油製造プロセスの概要を説明する。

II 船舶燃料油の製造

1 石油精製法

石油精製プロセスは、原油に含まれる様々な物質の沸点の差を利用して目的の留分を抽出する蒸留操作が基本であるが、環境保護や製品の品質向上に対応するため、水素化精製（脱硫等）、分解、改質などの操作が増加してきた。現在の石油精製プロセス例を図3に示す。

図3 現在の石油精製プロセス例



(注) 図中、実線矢印は、液体で回収されることを表し、点線矢印は、気体で回収されることを表している。LPG（液化石油ガス）は、常温・常圧で気体であるが、回収時に加圧又は冷却することにより容易に液化する。
 (出典) 日本エネルギー経済研究所編著『これが石油産業の全貌だ！』かんき出版、2009、pp.126-127；清水太郎・三屋淳一「IMO（国際海事機関）による船舶用燃料油の硫黄分規制強化とその影響」『JXTG Technical Review』60(1)、2018.3、p.35を基に筆者作成。

(33) 1905年発足の“Baltic and White Sea Conference”が前身。メンバーは、船主、海運会社、船舶代理店を含むブローカーのほか、船主責任保険等を含む「クラブメンバー」や船級協会や海事法律事務所、損保や銀行等海運に関心のある「準メンバー」により構成されている。BIMCOの代表的事業は、傭船契約等書式の標準化。そのほか、各種外航海運データ、情報を発信し、IMOに対して意見を開陳する。（「BIMCO」『海事略語・用語集』日本海運集会所ウェブサイト <http://www.jseinc.org/abbreviation/detail/b/bimco_detail.html>）

(34) 「SOx 全海域規制 低硫黄燃料の需給予測に焦点」『COMPASS』216号、2016.11、p.66。

経済産業省の資源・エネルギー統計年報⁽³⁵⁾によれば、2017年の国内製油所における各油種の生産量は、LPG（液化石油ガス）が4,521,167トン、ナフサが18,790,748キロリットル（10.73%）、ガソリンが53,737,984キロリットル（30.68%）、ジェット燃料油が15,144,484キロリットル（8.65%）、灯油が15,899,596キロリットル（9.08%）、軽油が41,878,448キロリットル（23.91%）、重油が29,682,301キロリットル（16.95%）となっている（カッコ内は、LPGを除いた燃料油合計175,133,561キロリットルに占める割合（筆者算出））。

2 A重油・C重油の製造

(1) A重油

A重油は、中小工場のボイラー、ビル暖房、小型船舶ディーゼルエンジン、ビニールハウス暖房用燃料として使用されている。我が国では、主に硫黄分1.0%以下と0.1%以下の2銘柄の硫黄分体系となって販売されている。表1の硫黄分別の調合割合に示すとおり、硫黄分1.0%以下のA重油の調合割合は、常圧蒸留装置から分留されたまま脱硫工程を経ない直留軽油（硫黄分1.29%）が主体である。硫黄分0.1%以下の調合割合は、脱硫軽油（硫黄分0.001%）が主体である⁽³⁶⁾。

表1 A重油の硫黄分別の調合割合例

調合基材 硫黄分	灯油 (0.0005%)	直留軽油 (1.29%)	脱硫軽油 (0.001%)	分解軽油 (0.20%)
1.0%以下	10%	65%	—	25%
0.1%以下	10%	—	75%	15%

(注) 調合基材のカッコ内数値は、各基材に含まれる硫黄分。

(出典) 林利昭「船舶燃料油の製造方法と品質」『KANRIN』71号, 2017.3, p.27を基に筆者作成。

(2) C重油

C重油は、電力、化学、紙パルプ工業などのボイラー、大型船舶ディーゼルエンジン用燃料として使用されている。C重油の調合割合の例は、表2に示すとおりであり、常圧残油を減圧蒸留した減圧残油を主体として、脱硫処理をしていない直留軽油や流動接触分解装置で得られた分解軽油・分解残油等を調合する⁽³⁷⁾。

表2 C重油（硫黄分3.5%以下）の調合割合例

調合基材 硫黄分	減圧残油 (4.0~5.0%)	脱硫重油 (0.3~1.0%)	分解残油 (0.4~1.4%)	直留軽油 及び 分解軽油 (0.9~1.2%) (0.3%)
3.5%以下	75%	—	—	25%
3.5%以下	70%	15%	—	15%
3.5%以下	75%	—	10%	15%
3.2%以下	60%	—	30%	10%

(注) 調合基材のカッコ内数値は、各基材に含まれる硫黄分。

(出典) 林利昭「船舶燃料油の製造方法と品質」『KANRIN』71号, 2017.3, p.28を基に筆者作成。

⁽³⁵⁾ 経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部「資源・エネルギー統計年報（石油）平成29年」2018, pp.29-30. <<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/sekiyuka/pdf/h2dhhpe2017k.pdf>>

⁽³⁶⁾ 林利昭「船舶燃料油の製造方法と品質」『KANRIN』71号, 2017.3, p.27.

⁽³⁷⁾ 同上, p.28.

3 規制適合油の製造

国土交通省では、第1回燃料油環境規制対応連絡調整会議において、規制適合油の製造方法に関する現時点での情報として、①軽油とC重油のブレンドによる製造、②原油の蒸留で最後に残る残油留分を直接脱硫して低硫黄のC重油を製造、③残油処理装置の装備率向上により、低硫黄燃料油を追加製造、④軽質原油を用いて、低硫黄燃料油を製造、の四つの製造方法を挙げ、各方法で得られる燃料油の性状、供給可能性等を評価している⁽³⁸⁾。

(1) 軽油とC重油のブレンド製造

この方法による規制適合油は、脱硫軽油（硫黄分0.001%）とC重油（硫黄分2.5%）を約4対1で混合して硫黄分0.5%以下に調整するもので、ブレンド油の性状は硫黄分0.1%以下のA重油に近い見込みである。船舶用C重油の全てを低硫黄燃料油に切り替えることが可能な量の脱硫軽油及びC重油は国内で製造されている⁽³⁹⁾。

ただし、現在軽油を燃料とする貨物車で荷物を運搬している運送業界等への影響が避けられない。航空会社の関係者も、船舶用燃料が高硫黄重油から低硫黄燃料油に切り替えられるのに伴う軽油の需要の高まりを警戒している。軽油価格が上昇すれば、ジェット燃料油価格がそれに追従して上昇する可能性が高い⁽⁴⁰⁾。

参考に、国土交通省の「平成28年度交通部門エネルギー消費実績」⁽⁴¹⁾によれば、2016年度の軽油消費実績は、乗用車が1615千キロリットル、貨物車が22219千キロリットル、バスが1611千キロリットル、自動車合計で25445千キロリットルとなっている。一方、海運業界のC重油消費実績は、内航海運が2392千キロリットル、外航海運が2854千キロリットル（外航海運のみ2013年度実績）となっている⁽⁴²⁾。

仮に、海運業界が消費する計5246千キロリットルのC重油を、全て軽油とC重油のブレンド製造による規制適合油に置き換えたとすると、4197千キロリットルの軽油が必要になり、それは自動車が消費する軽油の16.5%に相当する。軽油価格上昇の懸念が現実となる可能性は高い。

(2) 残油留分の直接脱硫

この方法による規制適合油は、残油留分を直接脱硫装置により硫黄分0.5%以下に脱硫するものである。現在、同等の燃料が国内電力会社向け等に流通していて、その性状はC重油と大きな違いはない。国内電力会社向け等の供給実績はあるが、国内電力会社との競合により価格が上昇し、電力料金の値上げに波及することも考えられる。船舶向けに十分な量を供給することが可能であるか、今後調査が必要である⁽⁴³⁾。

(38) 国土交通省「海運業界要望に係る事項についての現時点での情報について」（第1回燃料油環境規制対応方策検討会議 資料3）2017.2.28, pp.6-8. <<http://www.mlit.go.jp/common/001174697.pdf>>

(39) 同上

(40) ジェット燃料油の主成分は灯油であるが、燃料油市場の慣習上、ジェット燃料油価格は軽油価格に連動し、1ガロン当たり2〜3セント上乘せされることが多い。（「意図せぬ航空燃料費上昇」『毎日新聞』2018.10.31.）

(41) 「輸送機関別国内エネルギー消費量の推移」国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/statistics/pdf/23000000x033.pdf>>

(42) 同上

(43) 国土交通省 前掲注(38)

(3) 残油処理装置の装備率向上による追加製造

この方法による規制適合油は、原油の常圧蒸留で最後に残る常圧残油を直接脱硫装置により脱硫した後、流動接触分解装置で分解してガソリンを製造する際に副次的に出てくる分解軽油等をC重油、軽油と混ぜて硫黄分0.5%以下に調整するものである。燃料油の性状は、調合するC重油、軽油、分解軽油等の割合により変わるが、C重油よりはA重油に近くなる。船舶向けに十分な量を供給することが可能であるか、今後調査が必要である⁽⁴⁴⁾。

なお、経済産業省は、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」(いわゆる「エネルギー供給構造高度化法」。平成21年法律第72号)に基づいて、残油処理装置の装備率向上を目指しているため、将来の供給量は増加することが見込まれる。

(4) 軽質原油を用いて低硫黄燃料油を製造

日本が輸入している原油は、サウジアラビア、アラブ首長国連邦などで生産される中東系原油とインドネシアなどで生産される南方系原油に大別される。中東系原油は硫黄分が多いのに対して、南方系原油は軽質で硫黄分が少なく、常圧蒸留で得られる残油は低硫黄重油となる。軽質原油を原料とすれば、既存の石油精製設備をそのまま用いて、残油の硫黄分を0.5%以下に調整し、低硫黄燃料油を精製することができるが、燃料油の性状について動粘度⁽⁴⁵⁾が低くなる点と、軽質原油の産出量は、世界の原油の中で12%程度しかないという問題がある⁽⁴⁶⁾。

4 規制適合油の性状—国土交通省による調整—

(1) ISOへの規格化要請

2017年7月に開催された第71回MEPCにおいて、国際標準化機構(International Organization for Standardization: ISO)に対して規制適合油の国際規格化を要請することが決定された⁽⁴⁷⁾。ISOは現在、規制適合油の国際規格を検討しているが、新規格が公表されるのは、2020年以降になる見込みで、当面は海運会社と燃料サプライヤーが相対で仕様を決めて取引することになるとみられる。新規格が公表されるまでの業界間の調整等を図る必要を踏まえ、国土交通省は、SOx規制強化の円滑な実施のために、以下に述べる三つの会議を設置した。

(2) 国土交通省による業界間の調整

国土交通省では、2017年2月に「燃料油環境規制対応方策検討会議」を設置し、海事関係者間の情報共有を図るとともに、同年3月に海事関係者に石油業界、資源エネルギー庁、環境省

(44) 同上

(45) 液体の流動性を示す重要な性質の一つである。ディーゼル機関では燃料噴霧の粒形、拡がり、到達距離などが粘度と密接な関係にあり、燃焼効率、排ガス特性などエンジン性能は粘度で支配されている。動粘度は、一定容量の液体が、規定の温度条件下において、粘度計の毛細管内を自然流下するのに要した秒数を測定して算出され、単位は mm^2/sec (JIS K 2283)。数字が高いほど粘り気が高い。(石油連盟『石油製品の品質と規格 改訂新版』2014, p.9.)

(46) 林 前掲注(36), p.29.

(47) 「燃料油中硫黄分濃度規制における不正防止対策に係る検討」(国際海事機関、国際海運の温室効果ガス(GHG)削減戦略の検討本格開始—国際海事機関第71回海洋環境保護委員会の審議結果について—別添[1]: GHG・バラスト・SOx 概要) 2017.7.10. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001192910.pdf>>

等を加えた「燃料油環境規制対応連絡調整会議」を設置し、SO_x 規制強化の円滑な実施に向けて関係者が連携して取組を行えるよう対応方策の検討、連絡調整を行っている。

また、国土交通省は、規制適合油の性状等に関して内航業界が抱える技術的懸念などを石油業界に伝えるため、2018年10月に海運業界と石油業界で構成する「船用燃料油の性状に関する6者協議会」を新たに設置した。内航業界は規制適合油について、性状にばらつきがあるとの認識から、エンジン運転時におけるトラブル発生の懸念を深めている。国土交通省ではこうした海運業界の懸念を石油業界に正しく伝えるための協議の場を設定し、円滑な規制適合油導入のための環境整備を進めていくこととした⁽⁴⁸⁾。

上記の国土交通省が規制強化の円滑な実施のために設置した3会議の概要を、表3に整理する。

表3 SO_x 規制強化の円滑な実施のために設置した3会議の概要

会議名	会議設置の趣旨	会議を構成する主な組織
燃料油環境規制対応方策検討会議	<p>硫黄分濃度規制への対応方策としては、「低硫黄燃料油の使用」、「スクラバーの使用」、「LNG燃料等の使用」のいずれかによる必要があるが、低硫黄燃料油の品質、供給量、価格等の見込みや、スクラバーの搭載コストや工期等への懸念・疑問点も海運業界より表明されており、これらについての情報交換の場の設置も要請されている。</p> <p>このため、本会議を設置し、関係者間の情報共有を図るとともに、石油業界との今後の意見交換等の実施も念頭に置きつつ、官民連携して今後の対応方策を検討する。</p>	国土交通省海事局・総合政策局、日本内航海運組合総連合会、日本旅客船協会、日本船主協会、日本造船工業会、日本中小型造船工業会、日本船用工業会、日本海事協会、海上技術安全研究所、鉄道建設・運輸施設整備支援機構
燃料油環境規制対応連絡調整会議	<p>硫黄分濃度規制については、我が国の経済・国民生活にとっての海運業・石油産業の重要性やそれぞれが他産業に与える影響の大きさ、両業界の経営状況等も十分に認識した上で、規制の実施と業界の円滑な対応が確保されるよう取り組んでいくことが重要である。</p> <p>このため、本会議を設置し、関係者の情報共有の促進を図りつつ、業界の燃料油環境規制への円滑な対応の確保に向け、それぞれの取組を連携して行えるよう対応方策の検討、連絡調整を行う。</p>	上記に加え、資源エネルギー庁資源・燃料部、環境省水・大気環境局、石油連盟、石油エネルギー技術センター
船用燃料油の性状に関する6者協議会	<p>2020年1月からの世界的な船用燃料油の硫黄分濃度規制の強化に伴い、従来の船用燃料油の性状変化等が想定されている。関係業界が規制に円滑に対応するために必要な準備を行うとともに、適切な燃料を供給し、適切に燃料を選択し使用するための理解を深めることを目的に6者協議会を設置する。</p>	国土交通省海事局、資源エネルギー庁資源・燃料部、石油連盟、石油元売り各社、海運業界団体、海運各社、造船各社、船用機器メーカー等

(出典)「燃料油環境規制対応方策検討会議について」国土交通省ウェブサイト <http://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr7_000010.html>;「燃料油環境規制対応連絡調整会議について」同 <http://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr7_000011.html>;「船用燃料油の性状に関する6者協議会について」同 <http://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr7_000024.html> を基に筆者作成。

(48) 「SO_x 適合油で協議会新設 海運・石油業界 あす6者会合 海事局長」『日本海事新聞』2018.10.29.

(3) 規制適合油の性状公表

2019年2月20日に開かれた自民党・海事立国推進議員連盟「内航部会・フェリーの振興を考える小委員会」の席上、国土交通省水嶋智海事局長がSO_x規制強化に対応した取組状況を紹介する中で、規制適合油の性状について説明した⁽⁴⁹⁾。

海運業界、石油業界の双方が合意できる適合油の性状については、動粘度は20mm²/sec程度以上、流動点⁽⁵⁰⁾は30℃以下になるという。性状の範囲が固まったことを受けて、今後は異なる石油元売り業者の製品を混ぜて使用しても問題がないかどうか混合安定性についての検証作業を実施する予定である⁽⁵¹⁾。

Ⅲ 燃料油以外のSO_x規制対応策

1 新燃料（LNG等）による対応策

硫黄分を含まないか、著しく少ない新燃料はSO_x規制の有望な対応策の一つである。新燃料は、LNG（液化天然ガス）、LPG（液化石油ガス）、メタノール、エタンなど様々だが、先行しているのはLNG燃料船である。LNGは重油に比べてSO_xや粒子状物質（PM）の排出はほぼ100%、NO_xは最大80%、CO₂は約30%の削減が見込め、SO_xのみならず排出ガス規制全般への対応としても、重油に代わる有力な燃料として位置付けられている⁽⁵²⁾。

LNGは貨物としてLNGを輸送するLNG運搬船で長年燃料として使用されている実績があることや、その環境性能の高さから、SO_x規制が指定海域において一足先に強化された欧州を中心に使用実績が増加している。LNG燃料船は就航済みが世界中で約120隻、発注残が約130隻ある。LNGを採用する船種も、当初の客船やフェリー中心から、自動車船、コンテナ船、タンカー、バルカーなど貨物船へと広がりを見せ始めた⁽⁵³⁾。

しかし、LNG燃料船を導入するためには、エンジンシステムが大きく異なることから事実上新造船に限られ建造に時間を要すること、LNG燃料を供給する港湾設備等の整備もこれからである⁽⁵⁴⁾ことから、2020年1月に迫ったSO_x規制強化には間に合わず、長い目で見た対応ということになる。

2 燃料以外の対応策

(1) 排ガス浄化装置

SO_x規制への対応策としては、船舶燃料に規制適合油やLNGを使用して規制をクリアする以外に、排ガス浄化装置（スクラバー）を船に搭載して排出する燃焼ガスを浄化することにより、燃料をC重油のまま規制をクリアする方法が挙げられる。スクラバーは、海洋汚染防止条約

(49) 「適合油の性状を公表 3月にも実船トライアル 国交省海事局」『日本海事新聞』2019.2.21.

(50) 石油製品を冷やしていくと次第に粘り気を増し、やがて流動しなくなる。流動点試験器で流動しなくなった試料の温度を計測し、この温度より2.5度高い温度を流動点と定義している（JIS K 2269）。

(51) 『日本海事新聞』前掲注(49)

(52) 深澤義仁ほか「迫る、SO_x一般海域規制 解決策の現状と課題」『COMPASS』227号, 2018.9, p.21.

(53) 同上

(54) 国土交通省 前掲注(38), p.3.

附属書Ⅵ第4規則で認められている同等物⁽⁵⁵⁾である。スクラバーを搭載した船舶は、運航に際して、従来の安価なC重油の使用を継続することができ、燃料油の性状も従来どおりであるので、故障等の心配をすることなくエンジンを動かすことができる。

スクラバーには「湿式（アルカリ水や海水を用いて排ガス中のSO_xを吸収浄化する。）」と「乾式（吸着剤を用いて排ガス中のSO_xを吸収浄化する。）」の2方式があるが、船舶に用いる場合、SO_xが水に溶けやすい性質を利用して、海水等を排ガスに吹きかけてSO_xを吸収する「湿式」が主流になっている。「湿式」スクラバーは、オープンループ式、クローズドループ式、ハイブリッド式の3タイプがある⁽⁵⁶⁾。

オープンループ式スクラバーは、天然のアルカリ水である海水を使用してSO_xを吸収し、使用後の洗浄水を浄化処理して船外に排出する。クローズドループ式では必要となる清浄機や中和剤を必要としないため、ランニングコストを低く抑えられ、操作が容易というメリットがある。デメリットは、船が航行する海域によってアルカリ度や水温など海水の性質が異なり、これに左右されて性能維持に影響が出ることである⁽⁵⁷⁾。

クローズドループ式スクラバーは、洗浄水に清水を使用し、SO_x浄化処理後の汚染水は清浄機で浄化後、水酸化ナトリウムで中和して清水として循環させる。この方式のメリットは、海水の性質にかかわらず一定の操作性が得られることである。デメリットは、清浄機からの廃液や中和に使用した水酸化ナトリウムの処理コストがかかるほか、港によっては廃液の排水が制限されている⁽⁵⁸⁾。

ハイブリッド式スクラバーは、オープンループ式とクローズドループ式の両方の機能を併せ持つ。一般海域ではオープンループ式を使用し、規制がより厳しい海域を航行する際にクローズドループ式に切り替える。両方のメリットが得られる一方で、システムを構成する機器が増え、切替操作が複雑になるデメリットがある⁽⁵⁹⁾。

(2) スクラバー設置によるコスト削減効果

全世界におけるスクラバー設置を発注した船の累計は、2018年7月時点で1,000隻を超えているとの記事⁽⁶⁰⁾もある。スクラバーは装置を船に搭載する初期コストと一定のランニングコストは発生するが、硫黄分3.5%のC重油を継続使用できることがメリットとなる。特にSO_x規制強化開始直後、硫黄分0.5%以下の規制適合油は需要増に伴い大幅に価格上昇し、一方、需要の減退する高硫黄のC重油の価格は下がり、価格差が一段と開く公算が大きい。価格差が開くほどスクラバーによる燃油コスト削減効果が高まり、スクラバー設置の投資回収が進むこととなる⁽⁶¹⁾。

55) 「締約国の主管庁は、船舶に取り付けられるいずれかの取付け物、材料、器具若しくは装置又は他の手続、代替燃料油若しくは遵守の方法が、排出の削減の観点から、この附属書の要求するもの（第13及び第14規則に定めるいかなる基準も含める。）と少なくとも同等の実効性を有する場合には、これらの取付け物、材料、器具若しくは装置又は他の手続、代替燃料油若しくは用いられた遵守の方法を、この附属書の要求するものの代替物として認めることができる。」（国土交通省総合政策局海洋政策課監修 前掲注(18), pp.608-609.）スクラバーの脱硫性能に関する要件は、排ガスのSO₂/CO₂比を用いて評価することになっている。

56) 深澤ほか 前掲注(52), p.17.

57) 同上

58) 同上

59) 同上

60) 同上, p.18.

61) 「SO_xスクラバー 採用相次ぐ 搭載メリット享受へ」『日本海事新聞』2018.8.16.

英国の海事調査機関ドゥルーリー（Drewry Shipping Consultants）は、低硫黄油と高硫黄油の価格差を2020年は303ドル⁽⁶²⁾/トン、2021年は211ドル/トン、2022年は124ドル/トン、2023年は87ドル/トンと予想し、その結果生じる1隻当たりのコスト削減効果は、2020年が570万ドル、2021年が390万ドル、2022年が230万ドル、2023年が160万ドルと予想する。これに対し、大型原油タンカーにオープンループ式スクラバーを搭載するには、新造船の場合の費用増が250万～300万ドル、レトロフィット（既存船に対して改造を施すもの）の場合の設置費用が400万～450万ドルかかると見込まれている⁽⁶³⁾。

仮に、スクラバー設置費用が使用開始1年目にかかるとして、コスト削減効果との収支差を1年ごとに試算すると表4のとおりである。2019年から準備をして、SOx規制強化と同時にスクラバーを使用し始めれば、1年目から収支差はプラスで、4年間の累計は新造船で1050万～1100万ドル、既存船で900万～950万ドルのプラスとなる。一方、2023年からスクラバーを使用し始めた場合は、1年目の収支差はマイナスで、スクラバー設置費用を何年後に回収できるのかは、2024年以降の低硫黄油と高硫黄油の価格差次第となるので、スクラバーを設置するならば、早い方が良いということになる。

表4 スクラバー使用による収支差試算

(単位：万ドル)

スクラバーの使用開始時点	新造船／既存船	収支差				
		2020年	2021年	2022年	2023年	4年間累計
2020年1月	新造船	270～320	390	230	160	1050～1100
	既存船	120～170	390	230	160	900～950
2021年1月	新造船	—	90～140	230	160	480～540
	既存船	—	-60～-10	230	160	330～380
2022年1月	新造船	—	—	-70～-20	160	90～140
	既存船	—	—	-220～-170	160	-60～-10
2023年1月	新造船	—	—	—	-140～-90	-140～-90
	既存船	—	—	—	-290～-240	-290～-240

(出典)「バンカー値差急速に縮小 英調査機関分析」『日本海事新聞』2018.8.16を基に筆者作成。

IV 今後の課題

1 燃料油切替えの課題

(1) タンク内の燃料油切替え

船舶燃料油のSOx規制強化は、前述のとおり、2020年1月から始まる。では、2019年12月31日までは、硫黄分高濃度のC重油を燃料として使用し続けて、翌日から即座に規制適合油に切り替えられるのだろうか。それは、不可能である。規制が始まる2020年1月1日までに燃料油タンクを完全に規制適合油に切り替えるためには事前の移行期間が必要である⁽⁶⁴⁾。

⁽⁶²⁾ 1ドルは約110円。平成30年8月分報告省令レートに基づく。

⁽⁶³⁾ 「バンカー値差急速に縮小 英調査機関分析」『日本海事新聞』2018.8.16。

⁽⁶⁴⁾ 「SOx規制 19年秋から転嫁へ 自動車船オペ各社 燃油切り替え考慮」『日本海事新聞』2018.11.7。

海運会社は、規制適合油への切替えには各船で2~3か月かかると見込んでいる。一般的に船舶の補油では、燃料切れを防ぐためにタンクに5~10%の量を残して次の燃料を補給する。このため、1回の切替作業ではタンクに一定のC重油が残ってしまう。長距離航海に従事する自動車船や大型原油タンカーでは、補油が40~45日に1回というケースがある。切替完了に2回以上の補油が必要とすると、規制開始3か月前の2019年10月初めに作業を開始することになる⁽⁶⁵⁾。

(2) 燃料油コスト上昇分の運賃への転嫁

船主又は運送会社は規制適合油への切替えによる燃料油コスト上昇分を、運賃を支払う荷主に転嫁する必要がある。実際に、2020年1月開始のSOx規制による燃料油コスト上昇をめぐり、自動車船オペレーター各社が2019年秋口からの運賃への転嫁を目指し、荷主との交渉に入ろうとしている⁽⁶⁶⁾。

燃料油コストの上昇分については、荷主が応分の負担をする方向で交渉が進んでいるが、燃料油タンクの切替えに伴うタンクの洗浄費用を用船者と船主のどちらが負担するかで意見が分かれている。2019年秋に集中することが見込まれる燃料切替作業の費用分担をめぐり、用船者と船主の間で意見の応酬が続いている⁽⁶⁷⁾。

(3) 米国トランプ政権の動向

2018年10月18日、ウォールストリートジャーナルに「米国は燃料油切替えの猶予を希望する—トランプ政権は、2020年の燃料規制強化により消費者と企業の出費が上昇することを懸念している—」と題する記事が載った⁽⁶⁸⁾。

この記事によれば、ホワイトハウスは、燃油費の上昇が経済に与える損害に焦点を当てて猶予を希望していると報道されているが、同時に一部の政権関係者が、規制開始時期と次期大統領選挙の関係について述べたことも報道されている⁽⁶⁹⁾。政府の広報担当者は、規制強化の合意から撤退するつもりはないと言っているが、気候変動抑制に関するパリ協定離脱を前回大統領選挙の公約とし、大統領就任後実際に離脱したことを思えば、次期大統領選挙戦の展開次第では、撤退を示唆する可能性もないわけではない。

一方で、記事の後半では、「米国の石油精製業者は、過去10年間で多大な投資を行っており、規制適合油の燃料を供給する準備は整っている。この時期になって、規制強化を変更するのは良くない。」というアメリカ燃料石油化学製造者協会（American Fuel & Petrochemical Manufacturers: AFPM）の見解が、紹介されている⁽⁷⁰⁾。

(65) 「SOx規制 19年秋、燃油切り替え集中 邦船大手 計画策定急務 各500-800隻対象」『日本海事新聞』2018.12.10.

(66) 『日本海事新聞』前掲注(64)

(67) 「SOx規制 責任分担巡り対立 船主・用船者 タンク洗浄費用」『日本海事新聞』2019.2.14.

(68) Timothy Puko and Benoit Faucon, “U.S. Seeks More Time for Ships to Switch to Cleaner Fuels,” *Wall Street Journal*, Oct 18, 2018. <<https://www.wsj.com/articles/white-house-seeks-to-slow-rollout-of-rules-for-cleaner-ship-fuels-1539900741>>

(69) *ibid.*

(70) *ibid.*

2 スクラバー排水の課題

(1) 海洋環境への影響調査

2017年11月に燃料油環境規制対応方策検討会議の第3回会合が開催された。その会合でスクラバーからの排水の海洋環境に及ぼす影響の検証結果が報告された。

検証方法は、オープンループ式のスクラバーからの排水に含まれる海洋環境に影響を与える可能性のある項目（pH、硝酸体窒素、化学的酸素要求量（COD））を評価対象として選定し、その排水が日本の周辺海域で長期間実施された場合に海洋環境に及ぼす影響についてシミュレーションを行った⁽⁷¹⁾。検証結果である10年後の濃度上昇値計算結果を表5に示す。

表5 10年後の濃度上昇値計算結果

項目	基準	10年後の濃度上昇値		
		東京湾	伊勢湾	瀬戸内海
pH	7.8以上 ^(注1)	変化なし ^(注3) (pH 8.2)	変化なし ^(注3) (pH 8.2)	変化なし ^(注3) (pH 8.3)
硝酸体窒素 (mg/L)	0.2以下 ^(注2)	7.34×10^{-4} (基準値の0.36%相当)	5.30×10^{-5} (基準値の0.03%相当)	2.01×10^{-3} (基準値の1.01%相当)
COD (mg/L)	2.0以下 ^(注1)	3.85×10^{-4} (基準値の0.02%相当)	8.11×10^{-7} (基準値の0.00%相当)	9.62×10^{-4} (基準値の0.05%相当)

(注1) 環境基準は海域によって異なるが、最も厳しい値を示した。

(注2) 硝酸体窒素を含む全窒素の最も厳しい環境基準値を適用した。

(注3) 自然海水のpHを規定する要素の一つである硫酸体-硫黄の現存量に対する上乘せ分が0.01%程度であることから、海水中pH変化分は限りなく0に近い。

(出典) 「スクラバー排水の国内海洋環境基準への適合性評価の試験概要」(第3回燃料油環境規制対応方策検討会議資料1) 2017.11.17. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001211168.pdf>>

検証では、国内で海水中の物質に関する規制が厳しい海域として、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の3海域を対象に一定の前提を置いてシミュレーションを実施した。スクラバーから海への排水が10年間の長期にわたり実施された場合でも、環境に悪影響のある物質が海洋環境に蓄積することはないとの検証結果を得た。対象海域を航行している全船舶（外航船、内航船）が仮に100%スクラバーを搭載し、10年間使用を続けたとしても、評価対象物質等の濃度上昇は国内環境基準値の100分の1以下のオーダーであることを確認した。また、評価対象物質等の濃度は、10年後には外洋との循環等によりほぼ一定値となり、より長期的に見ても更に上昇することは見込まれないことを確認した⁽⁷²⁾。

その後、国土交通省は環境省・水産庁と連携し、海生生物、海洋環境などの専門家から成る調査会を設置し、調査・検証を行わせた。2018年7月、調査会は、スクラバーからの排水により、海生生物や水質へ影響を及ぼす可能性は、短期的にも長期的にも著しく低いとの検証結果をまとめ、公表した⁽⁷³⁾。

(71) 「スクラバー排水の国内海洋環境基準への適合性評価の試験概要」(第3回燃料油環境規制対応方策検討会議資料1) 2017.11.17. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001211168.pdf>>

(72) 同上

(73) 「スクラバー排水の海洋環境への影響に関する調査会 報告書」2018.7. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001246881.pdf>>

(2) スクラバーに対する地域規制

(i) 地域規制実施国

スクラバーには前述のとおり、オープンループ式、クローズドループ式、ハイブリッド式の3タイプがあるが、主流は洗浄水を海に排出するオープンループ式である。2018年11月30日、シンガポール海事港湾庁は、シンガポール港内でスクラバー洗浄水の船外排出を禁止する方針を打ち出した⁽⁷⁴⁾。また、中国は、2019年1月1日から、国内の内航河川や一部港湾でスクラバー洗浄水の船外排出を禁止する措置を開始した⁽⁷⁵⁾。

シンガポールが禁止の方針を明らかにしたことに對して、スクラバーの業界団体である排ガス浄化システム協会 (Exhaust Gas Cleaning Systems Association: EGCSA) は、2018年12月5日、「シンガポールの決断は科学的根拠が明らかに欠如している。」と批判し、各国政府や港湾局に対し、スクラバー利用を科学的証明や事実に基づいて判断するよう訴えたと報道された⁽⁷⁶⁾。

同じ記事の中で、国際タンカー船主協会 (International Association of Independent Tanker Owners) 会長であるニコラス・ツァコス (Nikolas Tsakos) 氏はシンガポールの決定を歓迎していると報道されている⁽⁷⁷⁾。しかし、ツァコス氏は SO_x 規制対応にスクラバー設置を採用せず、規制適合油で対応しようとする船主の立場からシンガポールの決定を歓迎しているのであって、スクラバー排水禁止そのものの科学的根拠については言及していない。

筆者が調べた限りでは、スクラバー排水禁止の科学的根拠を記述する記事・文献は確認できなかった⁽⁷⁸⁾。科学的根拠はないが排水規制を導入する状況を、次のように解説する記事⁽⁷⁹⁾もある。

「オープンループ式 SO_x スクラバーは、排ガスの洗浄水を海に排出するため、欧州諸国などは規制物質が海水中に溶け出すことで海生生物が影響を受けると主張している。これに同調して、シンガポールや中国なども SO_x スクラバー排水の禁止を決め、規制地域のさらなる拡大が懸念されている。一方で、各国が科学的根拠を示さないまま規制を導入していることを指摘する声もある。」⁽⁸⁰⁾

欧州諸国の主張は、大気中に拡散すると有害な SO_x を、海水に吸収させそれを海洋で拡散することは、科学的に解明されてはいないが海生生物に悪い影響を及ぼす可能性が否定できないとする「予防原則」⁽⁸¹⁾によるものと考えられる。

(74) 「船社は他地域への影響注視 星港、スクラバー洗浄水の排出禁止へ」『海事プレス』15699号, 2018.12.4, p.3.

(75) 「中国もスクラバー排水禁止 コンテナ船やバルカー、影響限定的も規制拡大懸念」『海事プレス』15719号, 2019.1.9, p.3.

(76) 「議論呼ぶスクラバー排水禁止令 「科学根拠欠如」「歓迎」と評価二分」『海事プレス』15703号, 2018.12.10, p.4.

(77) 同上

(78) 国土交通省はプレスリリース資料の中で、「現在一部の地域においては、科学的根拠を示すことなく排ガス洗浄装置からの排水禁止を導入する動きがあります。」という表現を用いている。(「船舶 SO_x 排ガス洗浄装置への非合理的な地域規制の導入を IMO で牽制—IMO (国際海事機関) 汚染防止・対応小委員会第6回会合開催結果—」2019.2.25. 国土交通省ウェブサイト <<http://www.mlit.go.jp/common/001274340.pdf>>)

(79) 「科学的根拠のない規制の導入抑止 IMO、日本はスクラバー排水を禁止せず」『海事プレス』15751号, 2019.2.26, p.4.

(80) 同上

(81) 「ある物質や技術が環境に深刻で回復不可能な損害を及ぼす可能性があるとき、因果関係が科学的に立証されていなくても、効率より安全を優先して事前に規制のための政策や行動を起こすべきだという考え方。」(「予防原則」松村明編『大辞林 第3版』三省堂, 2006, p.2631.)

(ii) 地域規制に対する我が国の主張

前述のとおり、政府は、スクラバーからの排水が海洋環境に及ぼす影響は無視できる範囲であることを確認したとしている。そのことを踏まえ、国土交通省海事局次長の大坪新一郎氏は、日本海事新聞のインタビュー記事⁽⁸²⁾で、いくつかの国がスクラバー排水を地域規制する動きに対して、以下のように論評している。

「SO_x を構成する SO₂ (二酸化硫黄) や、SO₂ から大気中で 2 次的に生成される PM は空気中に飛散すると人の呼吸器に入って健康被害を与えるが、水に溶ければもともと海水に存在する、害の想定されない物質 (硫酸イオン) になる。」

「よく誤解があるが、海水で排ガスを洗浄するスクラバーについては有害物質を海中に捨てているわけではなく、もともと海にある物質 (イオン) に変化するだけ。正確には、理論上 pH (水素イオン指数) 値が微妙に変化するが、検知できないレベルである。」

… (中略) …

「シンガポール政府が 2020 年 1 月から同国港湾でのオープンループ式スクラバーからの洗浄水の排出を禁止する方針を打ち出しているが、どれだけ環境面に効果があるか疑問がある。無意味な規制の拡散を防ぐためにも国交省として、シンガポール政府と直接対話して情報提供していきたい。また、中国政府にも昨年 12 月の日中検査課長会議で説明したが、先方は河口付近の汽水域の特殊事情⁽⁸³⁾について言及していた。」⁽⁸⁴⁾

このように、政府としては、一部の国が行うスクラバー排水の地域規制について、科学的根拠に乏しいとの見方に立っている。そのような状況の下で、2019 年 2 月 18~22 日に開催された IMO 汚染防止・対応小委員会第 6 回会合において、我が国は、諸外国に対して科学的根拠を欠く地域規制導入の抑止を図るべく、スクラバーからの排水が海洋環境に及ぼす影響の検証結果を発表するとともに、スクラバーの排水を禁止しないことを表明した⁽⁸⁵⁾。

おわりに

I 章 3 節 (3) で述べたように、SO_x 規制強化の開始時期は予定どおり 2020 年とすることで決着したものの、国際石油産業環境保全連盟が「2020 年の開始は困難」と主張していた事実は消えない。また、IV 章 1 節 (3) で述べたように、米国トランプ政権は、規制強化開始時の経済的混乱を懸念している。

SO_x 規制強化の実施に当たっては、大部分の船舶は、燃料を規制適合油に切り替えることにより対応し、スクラバーによる排ガス浄化を行う船舶は、一部にとどまると予想されている⁽⁸⁶⁾。

⁽⁸²⁾ 「燃料革命—SO_x 規制 2020 ①⑤ スクラバー普及、適合油にも恩恵」『日本海事新聞』2019.1.10.

⁽⁸³⁾ オープンループ式スクラバーは、アルカリ度の高い海水を用いることによって、スクラバー排水の pH 低下を抑えているが、河口付近の汽水域では海水が河川水で希釈されることによりアルカリ度が下がり、所定の性能が得られない可能性がある。

⁽⁸⁴⁾ 『日本海事新聞』前掲注⁽⁸²⁾

⁽⁸⁵⁾ 「船舶 SO_x 排ガス洗浄装置への非合理的な地域規制の導入を IMO で牽制—IMO (国際海事機関) 汚染防止・対応小委員会第 6 回会合開催結果—」前掲注⁽⁷⁸⁾

⁽⁸⁶⁾ 山田智史「SO_x 規制 規制対応と安定サービス両立は至難の業」『日本海事新聞』2018.12.21.

しかし、一部ではあってもスクラバーを搭載する船舶が高硫黄のC重油を一定期間使用し続けることで、規制強化開始時の海運業界・石油業界への影響を緩和することができると期待されている⁽⁸⁷⁾。政府は、スクラバー排水の地域規制によってスクラバー導入の機運が削がれ、上記混乱の緩和効果が薄れてしまうことを懸念しており、IV章2節(2)(ii)で述べたように、科学的な検証を踏まえてスクラバーの安全性を主張している。諸外国の地域規制の見直しについて国際社会の理解を得るためには、これからも丁寧な説明を重ね、支持を積み上げる活動が重要となろう⁽⁸⁸⁾。

天然資源、農水産物の輸入や工業製品の輸出入が経済社会の基盤となっている我が国にとって、SOx規制の強化に円滑に対応し、船舶の安定的な運航を確保することは、極めて重要である。規制適合油の品質確保や増大するコスト負担の調整などを着実に解決することはもとより、対策の選択肢を広げる意味において、期待されるスクラバーの活用を妨げる地域規制の見直しを図ることも課題となっている。丁寧な説明が実を結び、国際社会の理解を得て、規制の調和を実現することができるのか、今後の動向が注目される。

(すどう すすむ)

87) 大坪新一郎氏のインタビュー記事(『日本海事新聞』前掲注82)のほかには、乾汽船社長の乾康之氏が、スクラバー搭載船の運航により規制強化に伴う海上サプライチェーンの混迷を最小化するとの見解を述べている。(「乾汽船/スクラバー第1船出航 乾社長「規制の混迷最小化」」『日本海事新聞』2019.3.27.)

88) 科学的に行ったりリスクの分析・評価の結果発表だけでなく、効果的な広報戦略も重要であることを示す事例として、福島第一原発事故以降の日本産水産物の輸入制限をめぐる世界貿易機関(WTO)を舞台にした争いや、かつての牛海綿状脳症(BSE)について、牛の年齢に関係なく全頭検査を長期にわたって続けた事例(須藤晋「牛海綿状脳症(BSE)対策の経緯と現状」『レファレンス』804号, 2018.1, pp.3-28. <http://dl.ndl.go.jp/view/download/digi_depo_11035758_po_080402.pdf?contentNo=1> 参照)が挙げられる。