

青島市におけるエコタウン事業支援プロジェクトについて¹

大和田 秀二²

On the Qingdao Eco-Town Project Supported by Kita-Kyushu City

Shuji OWADA

Faculty of Science and Engineering, Waseda University

Abstract

This paper describes the outline of “Qingdao Eco-Industrial Park” project supported by Kita-Kyushu city. This project was established by the agreement of Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and National Development and Reform Commission, China in 2006 and implemented from 2007. In the first year, we focused on wasted electrical home appliances and made discussion about processing technology and strategy for the recycling system to be economically feasible.

Key words: Eco-Town, Qingdao, Kita-Kyushu, Recycling, Electric home appliances

1. 本プロジェクトの背景

日本と中国は、2006年以降、いわゆる「戦略的互惠関係」に基づく新たな関係構築を推進している。特に、関係構築の重点取組分野としてエネルギー・環境分野における協力関係の強化が進められており、資源節約型社会である「循環経済」の構築に力を入れている中国では、日本の先進的な取組に大きな関心が寄せられており、中でも静脈産業が多数集積している北九州エコタウンには中央政府要人を含む年間900人近い中国人見学者が訪れる等、熱い注目を浴びてきた。

中国青島市では、ハイアール、ハイセンスといった中国系大手家電メーカーの本社が立地していることもあり、家電リサイクルモデルの構築に力が入れられ、2003年末に中国政府から廃家電リサイクルのモデルプロジェクトに指定された。また 2005 年には新天地投資有限公司とハイアールの合併による家電リサイクルプラントが建設され、中国における家電リサイクルモデルの構築という具体的プロジェクトを通して循環型都市の構築を推進している。

こうした状況の中で、2004年1月に青島市において「日中循環型社会形成セミナー」が開催されたことを契機として、両市間の循環型都市構築に関する交流が深められ

ていった。その後、日本の経済産業省と中国の国家发展改革委員会との間で、日本のエコタウン自治体が有するノウハウを活用した都市間連携によって中国の循環型社会の構築に向けた取組を支援しようという機運が高まり、2006 年 12 月に行われた甘利大臣と馬凱主任との会談において、循環型都市に関する協力の実施について日中両国間で合意がなされた。この合意を受けて、2007 年 6 月に開催された日中 3R 政策対話において、北九州 - 青島市間の都市間協力を進めることが合意された。

2. 本プロジェクトの目的

本プロジェクトは、北九州市の循環型社会構築の取組に関する経験やノウハウを活用し、青島市の循環型都市構築に対する協力を行うことを目的とするものであり、具体的な目標として以下の項目の実施が掲げられている。

青島市が策定する「青島市再生資源産業建設計画」について北九州市が協力する。

- ① 廃家電回収処理モデルプロジェクト建設について、技術・設備の導入の可能性を検討する。
- ② 青島市が既に始めたあるいは計画中のリサイクル関連産業について、協力の可能性を模索する。
- ③ 日本の循環型社会構築の取組を学ぶことを目的とした、青島市の行政・企業関係者の訪日研修を行う。
- ④ 北九州市ならびに青島市は、協力して日中両国におい

1. 平成 20 年 11 月 6 日本会第 121 回例会において発表

2. 早稲田大学理工学術院創造理工学部環境資源工学科

平成 20 年 7 月 30 日受理

今年度は特に青島市の要望を踏まえて実施内容②を重視し、法律の制定に向けた準備が進んでおり、今後国および地方府の具体的な仕組づくりが本格化する「家電リサイクル事業をケーススタディとする具体的検討」および、行政と企業の有機的連携という北九州エコタウンの特徴を踏まえた「政策と技術の一体的検討」に重点を置いて可能性調査を実施することとした。

本プロジェクトの実施体制を Fig.1 に示す。日中両国政府がメンバーとなる合同調整委員会の下に、両都市政府や学識者・企業関係者などで構成される「日中循環型都市協力委員会」が組織された。筆者はこの委員会の日本側委員長を務めた。また、より具体的な議論を進めるため、委員会には「技術検討部会」と「政策検討部会」が設置され、委員会・部会を通じて調査検討の方向性の議論や調査結果の検証等を実施した。



青島新天地静脈産業園は青島新天地が投資・建設を行った園区であり、主に先進的な技術を運用し、無害化処置の前提の下、固体廃棄物の資源化利用を行い、地域の良好なる生態循環を実現させ、社会経済の持続可能な発展を目指すものである。既に完成し稼動開始したプロジェクトは以下のとおりである。

- に準ずるよう設計されている。本プロジェクトは2008年オリンピックヨット競技関連の重要設備でもある。現在すでに一般産業固体廃棄物 7,000 t、危険廃棄物 4,000 t を処理し、各種汚染物の排出も基準になっている。

- ②廃家電および電子製品の回収と総合利用建設プロジェクトは、計画面積 6.7 ha、処理能力 600,000 台/年、最終的に 1,800,000 台/年を実現する予定。現在、回収・解体された各種電器廃棄物は 70,000 台余りである。
- ③山東省固体廃棄物情報交換センター。山東省唯一の産業固体廃棄物、危険廃棄物、医療廃棄物、廃家電、電子製品処理の大規模な情報管理システムであり、コールセンター、ホットライン、インターネット、GPS/GIS などを通じて、廃棄物の排出、申告、検査・測定、輸送、処理など、全過程においてのモニタリングを実現し、その情報交換機能により企業、市民、行政のために監視・管理などの全面的サービスを提供する。

5.1 技術分野

- 新天地静脈産業園の取組・計画に対して、北九州エコタウン企業の経験を踏まえ、適正処理技術選定、合理化の視点から技術指導を行った。

- 187

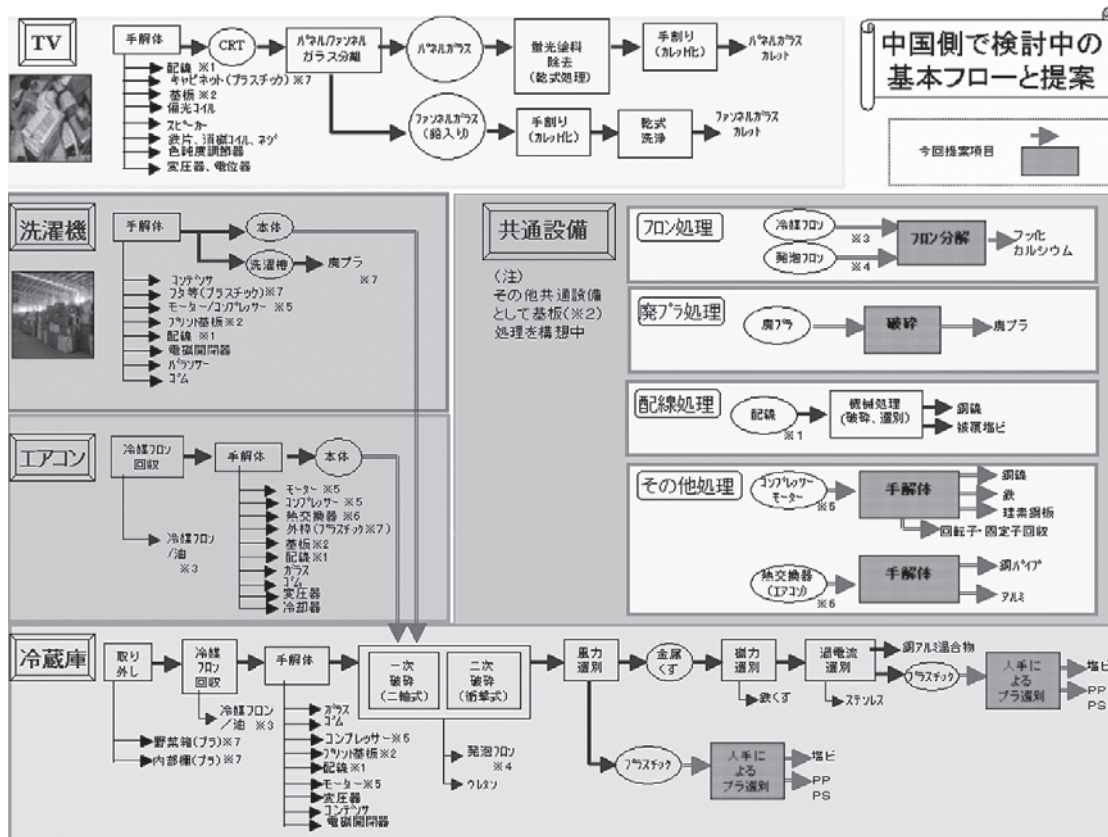


Fig.2 Processing flowchart of wasted electrical home appliances proposed

*②③ともに日本人専門家意見書として資料を提示
(「6. 専門家の意見」参照)

5.2 政策分野

①家電リサイクルシステムを事業的に持続可能な仕組みとするための政策検討の実施

- ・ 日本人専門家意見書として資料を提示 (「6. 専門家の意見」参照)
- ・ 事業性向上への貢献度という観点で政策の優先順位を整理し、広く誰の目にも明らかな形で家電リサイクルシステムを構築する上での課題を提起

②青島市における静脈産業園建設・運営に資する情報として、北九州エコタウンの建設・運営に関する各種情報提供の実施

6. 専門家の意見

6.1 技術分野

(1) プラント処理フローおよび導入機械設備の提案

理フロー計画の確認・提案を行った (Fig.2 参照)。

- ・ 廃家電に含まれるフロン等の環境負荷物質を適正処理しつつ 600,000 台処理規模を達成するため、Table 1 に示す機械設備の導入を想定した。

Table 1 Outline of apparatuses to be installed

機能	機械名称	対象家電
ブラウン管ガラスのファンネル/パネルガラスの分離	F/P 分離装置 (ニクロム線方式)	テレビ
ガラスカレットの磨砕洗浄	ガラスカレット乾式洗浄装置	テレビ
冷媒フロンの回収	冷媒フロン回収機	エアコン、冷蔵庫
冷蔵庫、洗濯機、エアコンの機械破砕(密閉式)	密閉式機械破砕装置	冷蔵庫、洗濯機、エアコン
破砕物の風力選別、磁力選別、渦電流選別等による選別	選別装置 (風力、磁力、渦電流)	冷蔵庫、洗濯機、エアコン
発泡フロンの回収	発泡フロン回収機	冷蔵庫
配線処理の設備	配線処理設備	テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン
フロンの分解(冷媒・発泡フロン)	フロン分解装置	冷蔵庫、エアコン
プラスチックの粉砕	プラスチック粉砕装置	エアコン、冷蔵庫

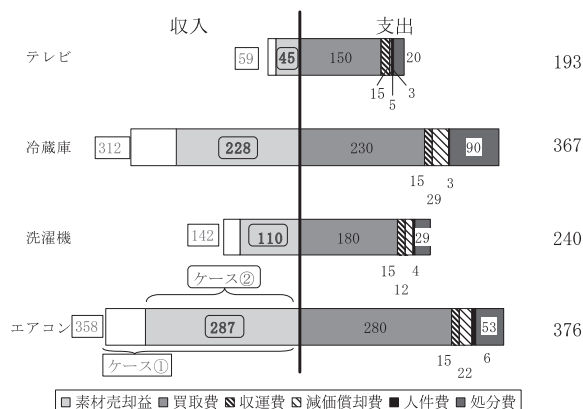


Fig.3 Balance of payment for wasted electric home appliances (Unit: RMB/appl.)

(2) 事業性検討

- リサイクル事業の事業性検討に当たっては、収入面では「素材売却益」を、支出面では「買取費」「収集運搬費」「減価償却費（7年）」「人件費」「処分費」を算出して計算した。「素材売却益」は前提となる処理条件によって大きく変動し、計算結果に最も影響を与えるため2とおりのケースを設定した。具体的には、家電の主要構成要素である鉄、銅等の有価物が100%回収可能と考える「ケース①」と、一定の歩留まりが発生すると考える「ケース②」を設定する。
- 事業性検討の結果はFig.3のとおりであり、今回設定した仮定の下では事業性は成立しない。事業性成立のためには収入面での素材売却益の増大と、支出面の大半を占める買取費の圧縮が不可欠である。
- 年間の収支合計は、収益性の悪いテレビの台数が全体の過半数を占めることから、いずれのケースでも赤字となり事業性は成立しない。「ケース②」の場合は74,130,000 RMB/yの赤字となる。
- 一方、支出面において「買取費」の占める割合が大きいことから、廃家電の回収にかかわるコスト構造によって事業性が改善する余地があることが示唆される。

(3) 現実的な事業展開方法検討

- 2008年1月時点で事業所にストックされている廃家電は、洗濯機18,000台、テレビ4,500台、パソコン1,500台、冷蔵庫、エアコン300台であり、まずは一定量の回収が見込める洗濯機から本格処理を

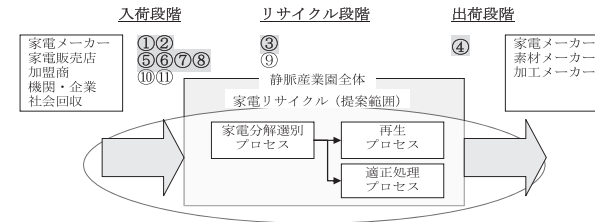
開始することが考えられる。

- 洗濯機は全て手分解可能な品目であることから、本格処理開始により手分解技術を高めると共に、外部業者の再生資源買取情報を処理内容にフィードバックすることで現実的な処理フロー計画策定のためのノウハウが蓄積できる。
- 機械化については、トップパネル、洗濯槽等のプラスチック部品の破砕機の導入を、また場合によってはリペレット化することで付加価値を高めることが考えられる。

6.2 政策分野

(1) 国による強制力を伴う法制度の厳格な履行

- 青島市は2006年6月に「青島市廃旧家電回収処理試点暫行弁法」を制定した。家電リサイクルシステムの大枠を規定しているものの原則的な記述に留まっており、以下のように具体性・実行性に乏しい内容となっている。
 - 家電リサイクルシステムの費用負担方法が示されていない。
 - 「本市廃家電製品集中収集処理モデル企業」に課せられる責務（廃棄物処理基準、資源回収基準等）が明示されていない。
 - 生産者の責務として生産過程の廃棄物及び廃家電の収集、集中処理が示されているが、具体的内容や違反時の罰則規定が示されていない。
 - 排出者（個人、組織）は集中処理への協力義務を有すると示されているが、具体的内容や違反時の



目標	方向性	政策	実施主体
収入増大	素材売却益 ・再生資材の品位向上 ・一定量の再生原料（廃家電）の確保	技術的対応項目 ①家電メーカー、家電販売店による廃家電回収義務の厳格履行 ②省レベルでの回収・処理ネットワークの一元化 ③一定期間の新規参入制限 ④グリーン購入の義務化	— 国 省、市
	買取費 ・再生資材受入先の確保 ・買取価格の圧縮	⑤適正処理費を考慮した買取価格上限設定や家電使用年限設定、及びこれら設定に基づく中古市場の取締強化 ⑥不適正買取業者、処理業者の取締強化（高価買取の防止） ⑦大口排出者からの買取価格圧縮 ⑧政府関係機関からの無償譲渡継続	国 市（国の規制厳格化を背景に）
支出圧縮	減価償却費	・機械設備導入の合理化 技術的対応項目	—
	・機械設備費の圧縮	⑨機械設備導入補助	国
	収集運搬費	・収集運搬費の圧縮 ⑩市域外の廃家電収集運搬に係る追加費用の助成 ⑪積み替え保管施設の設置	省、市
	処理費	・処理プロセスの合理化 技術的対応項目	—

Fig.4 Comprehensive strategic approach for achieving business security of electric home appliance recycling plant

罰則規定が示されていない。

- ・現在の市場構造では事業性が成立しない中で、持続可能な家電リサイクルシステムを構築・運営するためには、リサイクル事業における公平な競争条件を確保するための方策とともに、運営に必要となる資金の手当や廃家電を関係主体から確保するための方策が必要となる。この方策が実効性のある形で構築できるかがシステムの根幹であり、国家レベルの法律で規定し、厳格に運用されることが大前提となる。国家の「廃旧家電回収処理管理条例」は罰則についても言及がなされているものの、2004年の意見募集以来未だ公布されていない状況において、下部組織である地方政府が強制的な対応を採ることは非常に困難である。
- ・国家発展改革委員会は、静脈産業園の家電リサイクルプラントに対し、設備導入補助というイニシャルコスト面での支援を行っているが、Fig.3の収支構造分析から分かるように支出に占める減価償却費の割合は比較的小さいことから、設備導入補助による事業性確保への寄与は限定的であり、ランニングコスト面での廃家電の数量確保と買取費圧縮を実現する強制的な対応が求められる。
- ・買取価格の形成には、既存の回収事業者や処理事業者が行う中古品やリサイクルの事業が影響を及ぼしており、特に、廃家電から一部の有価物だけを

取り出し、それ以外の物を適正処分を行わずに廃棄している事業者の影響が大きいと考えられる。このため、リサイクル制度の構築と併せて、こうした不適正処理事業者の取締りの強化、法令遵守の徹底を図るための対応も求められる。

(2) 家電リサイクルプラント事業性確保のための政策

- ・青島市は2006年6月に「青島市廃旧家電回収処理試点暫行弁法」を制定した。家電リサイクルシステムの大枠を規定し実施国による「廃旧家電回収処理管理条例」の早期施行及び廃棄物処理法制の執行強化を大前提に、国、省、市が、入荷段階、リサイクル段階、出荷段階の各段階において必要な政策を相互に連携を取りながら実施することが求められる。中でも特に重要な点は、収支改善に大きな影響を与える「素材売却益の増大」と「買取費の圧縮」に資する政策を優先的かつ強力に展開することである（Fig.5参照）。

(3) 家電メーカー、家電販売店との連携による「青島モデル」構築

- ・青島市には中国有数の家電メーカーであるハイアール、ハイセンス、オクマの本社が立地している。また蘇寧、三聯、利群、五星等の大型家電販売店も多数立地している。家電リサイクルシステムの構築に当たっては、このような青島市の特徴を最大限活用した、家電メーカー・家電販売店との連携による

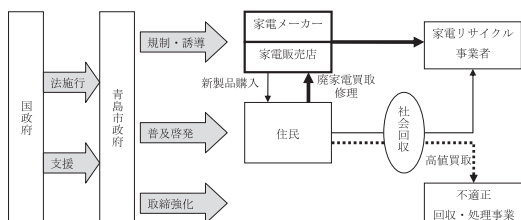


Fig.5 “Qingdao Model” established by cooperation of manufactures and shops

「青島モデル」の構築が望まれる。

- ・ 青島市における潜在的な廃家電の排出量は現状で約 520,000 台、近い将来 900,000 台とされているが、排出の 8 割以上は薄く広く存在する「住民」からであり、直接的に政府が管理するのが非常に難しいと考えられる。したがって、修理回収や新製品への買い替えといった「住民」とのコンタクトポイントを有する家電メーカーおよび家電販売店に対し、買い替え時における廃家電の回収、回収した廃家電の許可事業者への排出などの義務化が有効と考えられる。
- ・ またリサイクル事業者が民間企業として家電リサイクルシステム構築に協力することによるメリットを享受できる誘導施策も重要である。その際、「青島モデル」構築に積極的に協力する家電メーカー、家電販売店を優先支援し、それら企業の成功に向け

て行政がきめ細かい支援を行うことが必要である。

7. 今後の展開

覚書の内容に即して北九州市と青島市は今後も循環型都市構築に関する協力関係を継続・発展させていくことになるが、今後の展開案は次のとおりである。

「青島市再生資源産業建設計画」の策定支援： エコタウンを体系的に建設・運営するために青島市が検討している計画（エコタウンプラン）の策定作業の支援を目的とし、基本コンセプト、産業立地計画等に関する政策的なアドバイス、エコタウンに立地するリサイクル企業への技術協力等を実施する。

- ・ 青島市によるエコタウン建設・運営に関する素案の作成

- ・ 日中専門家委員会の組織化、素案の検討

例) 北九州エコタウンにおける廃棄物集荷及び再生資源出荷のネットワーク構築の分析と青島市での可能性検討

例) 北九州市のエコタウン運営及びリサイクル関連法執行状況の分析と青島市での実施検討

- ・ 企業 WG の設置と技術協力事業の実施

例) 青島市の静脈産業園建設協力に関心のある日系リサイクル事業者等の現地視察及び協力可能性検討

例) 個別のリサイクル事業実施に対する専門家の助言・指導の実施

- ・ 委員会による計画の答申、青島市による批准

日本から流出する E-Waste の動向¹

中 島 賢 一²・胡 浩³

Trends in E-Waste that Flowed from Japan

Kenichi NAKAJIMA and Hao HU

Re-Tem Corporation
Graduate School of Environment and Energy Engineering, Waseda University

Abstract

In recent years, the exportation of resources such as iron, aluminum and copper scrap etc. including e-wastes, is increasing in Japan under the background of economic development in Asia, while exported resources sometimes are processed improperly in developing countries that breed environmental pollution. Therefore, an appropriate physical distribution management system with traceability for the resources is necessary.

This paper attempts to build a model of International Resource Recycling System using Information Technology such as Global Position System (GPS), Radio Frequency Identification (RFID) tags, etc. between Japan and China by means of an international accepted traceability system. As a fundamental research, we surveyed the present condition of recycling and landfill facilities and the popularizations of information technology such as internet, RFID tags, etc. in China. We also did a demonstration test between Japan and China in order to confirm the effectiveness of the wide-area recycling system. As a result, the International Resource Recycling System with traceability is proposed.

Key words: E-waste, 3R, International Resource Recycling, Traceability

1. 結 言

近年、世界各国で循環型社会の構築が目標として掲げられ、3Rのための多重多層な循環の輪の形成が急がれている。こうしたなかにあつて、廃棄物を原料あるいは素材として活用するリサイクルのためには、適切な加工先・利用先への移送の重要性が強く認識され、広域化・国際化の動きが進展している。とくに、現在「世界の工場」・「世界の市場」と呼ばれている中国は、急速な経済発展を遂げ、生産量が飛躍的に拡大している。それに伴い資源の需要が旺盛になり、資源価格の高騰につながっている。こういった資源需要を受け、近年、日本からアジア各国へ廃プラスチックや鉄スクラップ等の輸出量が急増しており、E-wasteと呼ばれる中古家電やパソコン等も含め、再生資源の移動が国際化する傾向にある。日本からは年間 800 万トン近くのスクラップが輸出され続けている。

しかしながら、一方でこうした動向に対しては、その環境的効果に関する情報の不足や対象物の適格性、不適正な処理、不法投棄等に関する懸念から逡巡の傾向も見

られる。輸出された物が解体・選別され、有効な資源として活用されている一方で、有用な資源を取り出した後の残渣が正しく処理されているか、また素材を取り出す工場での労働環境が守られているのか、という有害性の問題もクローズアップされている。国際間の資源循環には様々な問題がはらんでいる。

このような状況から、資源循環の広域化・国際化の意義を的確に表現する情報の提供とその流れを適正化し、透明性を高めていく静脈物流管理の重要性が高まっており、再生資源の移動や適正処理の方法を確認・追跡できるシステムの構築が求められている。

本論は日本から流出する E-waste の現状や課題を紹介し、その課題の解決に向けて筆者らが取り組んでいる研究開発の概要を紹介するものである。株式会社リーテムは経済産業省の委託を受け、早稲田大学と共同で「トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査」を行い、国際資源循環トレーサビリティシステムを提案し、中国を対象に実証試験を行った。その結果、本システムは全体の透明性を確保するために有効な手段であることが確認された。今後も実証試験を通じて開発したシステムの更なる改善を目指して研究に取り組んでいく。

1. 平成 20 年 11 月 6 日本会第 121 回例会において発表
2. 株式会社 リーテム
3. 早稲田大学・環境総合研究センター
平成 20 年 7 月 25 日受理

2. 日本からのE-Wasteの現状と課題

財務省貿易統計によると、近年鉄スクラップ、銅スクラップやプラスチックの輸出量は急激に増加していることがわかる。一方で、E-wasteについては、解体された後の鉄、銅やプラスチック等は素材として輸出されているのはわかるが、中古家電や中古パソコン等の輸出量は判明されていない。廃家電の国内フローについて、経産省・環境省の推定結果（2005年度）を用いて独立行政法人国立環境研究所が再計算した結果をFig. 1に示す。廃家電四品目（テレビ、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機）の2005年度発生量の2,129万台の中で再商品化以外のものは、国内で処理されるのが442万台であり、輸出中古家電が518万台になっており、国内処理より国外へ輸出しているほうが上回っている。日本から輸出する廃家電の中で、ある部分は非鉄スクラップの形で不適正な輸出を継続的に行っていると思われる。したがって、計算結果の貿易統計との乖離、および中古取扱業者等の構造に課題が残され、国際資源循環全体として透明性が要求される。

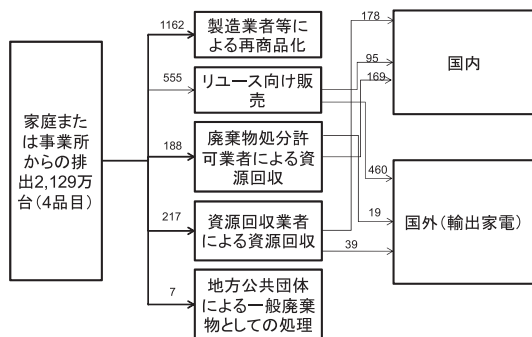


Fig.1 Presumed flow of used household electrical appliances in Japan

(Excerpt: National Institute for Environmental Studies)

独立行政法人国立環境研究所のデータ解析によると、2001年における日本・中国・香港の間のテレビの動きについて、中国内で製造された約3,100,000台の新品テレビが日本に輸入していたのに対して、約半分程度の中古テレビを香港に輸出していた。しかし、香港の貿易統計では、20万台程度の中古テレビしか記録されておらず、大部分の中古テレビの輸入は把握されていなかった実態が見られた。また、これらの中古テレビは香港経由で中国大陸をメインにアジア諸国に不正輸入がなされる場合が多いと言える¹⁾。

輸入された中古家電の大部分は小規模なリサイクル業者において処理処分がなされる。この中で、環境汚染が顕著であり、2002年にNGO団体に指摘された代表的な街

は中国広東省汕頭市貴嶼鎮である(Fig. 2)。ここで、外国から輸入される中古テレビ、パソコン等のE-wasteを集約し、選別を行い、ICチップ等の有価パーツは販売ショップへ、鉄くず等は金属スクラップ業者へ、プリント基板は分別作業へ売却する。Fig. 3は小規模なリサイクル業者がプリント基板を処理している建屋外部の写真である。建屋内部では基板をストーブで加熱させ、鉛ハンダを落とし、ICチップを外す作業を行っている。作業員が鉛ガス中毒を防ぐために換気ファンが設置されているが、鉛ガスが発生している場所で作業していることがわかった。また、ICチップを外した後の基板は道端に放置されているのがわかる。Fig. 4はE-wasteの残さと生活ごみと混ざって放置される写真であり、自然着火で常に煙が出ている状態が確認された。小規模なリサイクル工場では、排水処理施設が整備されておらず、河川へ放流することで水汚染になるケースが多々見られる。

以上の点を鑑みて、国際資源循環の排出から最終処分までのルートを確認可能なシステムが要求され、透明性を確保することが緊要な課題になっていると言える。

E-wasteによる環境汚染



Fig.2 Emphasized region (Guiyu) of E-waste environmental pollution

(Excerpt: National Institute for Environmental Studies)

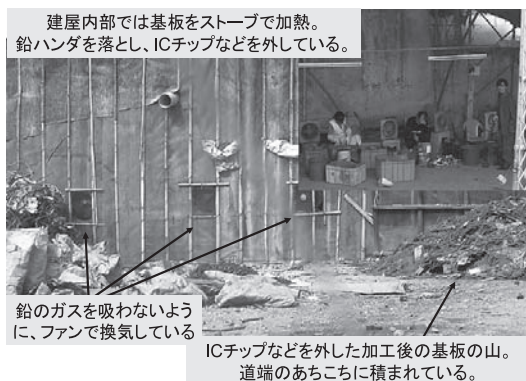


Fig.3 Treatment situation of circuit board in Guiyu

(Excerpt: National Institute for Environmental Studies)



Fig. 4 Mixed wastes of E-waste residue and garbage
(Excerpt: National Institute for Environmental Studies)

こういった中国の深刻な廃棄物問題を解決するためには、適正な国際資源循環管理システムを実現する必要がある、中国政府の協力を得ることが必要不可欠である。現在、中国の廃家電回収システムや法規制はまだ整っていないのが現状である。中国政府の環境保全への強力推進の中で環境意識レベルは向上しつつあるが、まだ経済面を重視している段階にあるため、国際資源循環システムの一貫である廃棄物回収システムの構築において、如何に小規模な個人回収・処理業者を喚起して適正なルートで処理処分を行うことが重要なポイントになる。

中国は沿岸地域の部分的な経済発展を優先し、他の地域を率先して推し進めるといった基本方針の中で、独特な国情が形成され、大勢いる小規模個人業者が廃家電回収処理を行うことが社会システムとして定着しており、他の国と比べると回収率が断然トップである優位性もある。ただ、環境意識を高める必要があり、まだ長い時間を要する。

当面、問題を解決するためには、政策上において中国政府の協力を得て、廃家電処理大手企業が小規模個人業者を編入し、日本側の新技術であるトレーサビリティシステムと情報共有管理システムと組み合わせて、共同で目標を達成する必要がある。筆者らが従事しているトレーサビリティを確保した国際資源循環管理システムの構築事業の概要を以下に記述する。

3. 国際資源循環管理システムの構想

適正な国際資源循環システムを構築するためには、以下に示す要件を達成する必要があると考える。すなわち、本事業の目的を達成するためには、

- ① 中国向け資源化対象物の質の管理の徹底
- ② トレーサビリティシステムによるフロー全体の適正管理・透明性の確保
- ③ ゼロエミッション・環境対応型のリサイクルシステムの構築（再資源化困難物は、日本へ）

④ 日中間の再生部品・再生素材等の市場の確保

を実現する必要がある。さらに、海外と国内の資源循環のバランスをとることの重要性や信頼性・継続性を担保するために、再生資源の受入施設の評価・情報開示および受入にあたってのルール・基準の策定等について検討する必要があることを示している。

こうした全体構想に基づき、上記の実現に向けた第一段階として、中国国内のリサイクル等の処理実態調査および GPS、デジタルカメラ等の IT 技術を活用したトレーサビリティシステムの導入可能性に関する検討も行うべきである。

国際資源循環管理システムの特徴を整理すると以下のようなポイントが挙げられる。

- ✧ 相手国に進出した日系企業が国際資源循環管理システムのプロセスをコントロールする中核的な役割を担うこと。
- ✧ 日本国内のみならず、現地のリテラシーを鑑みて、相手国国内のトレーサビリティシステムの導入を視野に入れていること。
- ✧ 他国へ展開も視野に入れた汎用性の高いトレーサビリティシステムを考慮していること。

以上の点を鑑みて、国際資源循環管理システムのモデルの構築を試みる。

4. 実施体制の確立

国際資源循環トレーサビリティシステムの運営に当たり、日本国内および相手国において関連する事業主体が多数存在し、それぞれ一定の責任を持って役割を果たすことが重要である。事業全体の管理体制としては、事業主体を軸に各種事業者によりコンソーシアムを形成し、第三者評価機能も有する委員会組織を設置することが望ましい。また、国内外を問わず、広域的な資源循環システムを構築していくためには以下の3点が重要である。

- ① 資源化対象物の排出・受入にあたってのルール・基準等の策定
- ② 資源化・物流管理等に関わる技術の開発
- ③ 情報の共有

こうした観点から、排出側・受入側の双方における循環型システムの構築に向けた強い取り組み意志の確認と“痛み”、“安全・安心”の共有を図ることが要求される。こうした仕組みを実現することが可能な適正な国際資源循環管理システムの構築に向けて、いくつかの段階を踏む必要がある。海外に進出した資源化事業者（一次処理先）を中心に据え、排出事業者と二次処理先に対して取るべきステップを「営業活動」、「事前準備」、「計画段階」、「実行段階」の各フェーズに分けて検討する必要がある。また、これらの事業活動を客観的に評価する

主体としての第三者評価を実施することも重要である。

5. トレーサビリティシステム運用実証試験

1)対象品目

● 資源化対象品目

資源化対象となる品目として、廃プラスチック、鉄くず、アルミくず、銅くず、ミックスメタル、ハーネス、古紙等を想定している。

● 荷姿

上記の荷姿は、コンテナ（裸積み、フレコン）、バラ積みで大別される。フレコン単位での管理を行うことで、より細かい単位での管理が可能となるために、フレコンの使用が望ましい。ただし、フレコンで管理困難の物は、やむを得ず裸積みで管理する。また、内容物（有害性の高いもの、希少価値が高いもの）によっては、フレコンやダンボールによって単品管理を行い、RFID タグ等による管理を行うことが有効となる。その他、バラ積みの場合は、車両単位で管理することになる。本研究は、コンテナとバラ積みの2通りに大別して、トレーサビリティシステムの運用について検討した。

2)追跡ルートの確定

資源対象物は日本発生と中国にある日系企業発生の2つの発生元がある。日本発生を①、中国発生を②とし、それぞれの追跡ルートをFig. 5に示す。日中から発生した再生資源物は選定された一次処理先で資源化され、残した残渣は管理型処分場に処分される。また、持続可能な国際資源循環システムを構築するには、一次処理先で発生する処理困難物を日本に戻して処理・処分を行うことが重要である。

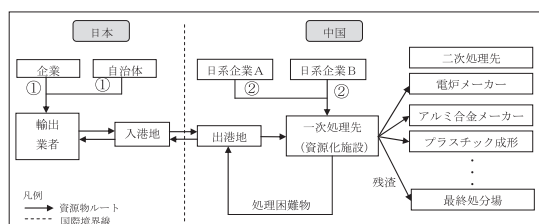


Fig. 5 Trace routes of recycling resources

3)トレーサビリティツール

本研究は、様々なトレーサビリティツールを複合的に活用することによって、実用性の高い管理システムの構築を実現する方法について検討した。使用するトレーサビリティツールの概要をTable 1にまとめた。

日本国内では、GPS測位機、RFIDタグ、バーコード、デジタルカメラ等は動脈物流における管理システムとして活用されており、認知度も高い。一方、静脈物流向けに

関しては、動脈に比較してIT化が不十分であり、コスト負担が増加することもあり、導入企業は少ない。今後の普及については、技術革新等によりハードウェアが廉価で購入できる環境が整う必要がある。また、中国国内で有価物として流通している再生資源に関しては、不法投棄されにくいいため、流通時の厳重な管理は不要という考え方もある。このため、国際資源循環管理システムの構築、普及に際して、コスト負担が大きな障害になることが想定される。したがって、トレーサビリティシステムの導入に関して、コスト面からも十分な検証を行うことが重要である。

Table 1 Outline of traceability tools

トレーサビリティツール	概要
GPS 測位機	車両の運搬経路を記録し、適切に運搬されたことを確認することができる。GPS 機能付きの携帯電話も活用可能である。
RFID タグ/バーコード	フレコンやコンテナに添付することで、運搬対象物の履歴を効率的に管理することが可能である。RFID は、経済的な面で課題があるが、有害性が高いもの、希少価値が高いものを運搬する場合には有効となる。
デジタルカメラ	コンテナ No.、車両 No.、荷姿等を画像として記録する。これらの情報を照合することによって、適切な運搬がなされたことを確認する。
台貫	重量のバランスをチェックすることによって、適切な運搬がなされたことを確認する。
封印	コンテナ等における封印を意味する。排出事業者から一次処理先まで封印されたまま運搬するのにも有効な手段のひとつであるといえる。
管理伝票	運搬の記録や重量や画像撮影の記録をチェックするために活用する。
携帯電話	海外では GPS 等が活用できないあるいは普及していない可能性がある。その場合には、携帯電話によって発着の確認等を行い、補完する方法が有効である。
EIR(Equipment Interexchange Report)	EIR とは、船会社が陸運会社に対して発行するコンテナの受渡の証明書である（バラ積み船の場合は発行されない）。同一貨物に関して IN（受取：日本側）と OUT（受渡：中国側）の2枚が発行され、両方の EIR を照合することで、国際間の移動についてのトレーサビリティを担保することが可能である。
ASP (Application Service Provider)	各種ツールにより得た情報を WEB 上にアップロードすることによって、関係主体間の情報共有が円滑に行えたとともに、効率的な情報管理が可能となる。

4)輸送方法

資源物対象品目と荷姿によって使用するトレーサビリティ

ティツールや輸送方法が異なる。本研究は「排出事業者（日本）－一次処理先（中国）」、「排出事業者（中国）－一次処理先（中国）」、「一次処理先（中国）－二次処理先（中国）」と「再資源化困難物を日本へ」に分類して、トレーサビリティシステムとその運用方法について検討し、実証試験を行った。「排出事業者（日本）－一次処理先（中国）」のコンテナ輸送を例として実証試験の内容を以下に記述する。

コンテナ輸送の場合に、導入を推奨するトレーサビリティシステムを Fig. 6 に示す。同図に示す「運用主体」が、トレーサビリティシステムの運用に関わる実質的な作業を行うことになる。

また、GPS により取得した位置情報例を図 7 に示す。再生資源を積載した車両に GPS 測位機を搭載し、取得したデータを整理した。さらに取得された GPS 測位機の緯度経度情報を、図 7 に示通り、電子地図上に展開すると、適正な運搬経路を確認することができた。この結果から、運搬車両が適正な経路を辿って移送を行ったことが証明された。



Fig. 7 Information obtained with GPS (extracted)

5)取得した情報の共有化

取得した情報・データは□適正な運搬が行われたことの確認、□問題発生時の緊急対応、□その他情報の収集といった目的により、関係者間で共有される必要がある。しかし記録媒体を物理的に収受する方法では、情報の取得に時間がかかってしまい、荷物と情報の流れが乖離する状況が発生する。このため不測事態への対応が困難となり、情報のリアルタイムでの共有化が求められる。情報共有の方法としては、パソコンに共通のアプリケーションソフトを持ち、共通の形式でインターネット通信網によりデータのやり取りを行うことが望ましい。しかし、パソコン上で稼働するアプリケーションソフトは定期的にバージョンアップの必要性が発生する。個々のパソコンにインストールされたアプリケーションソフトをバージョンアップするためには、パソコン1台ごとにバージョンアップするためのプログラムをインストールする必要性が発生する。これに係る作業において、手間と人件費が発生する。

この問題を解決するために Web 上に汎用的なソフトウェアを公開する ASP の仕組みを採用することが有効であると考えられる。この仕組みを採用することで、ユーザーは Web にアクセスするだけで、常に最新バージョンのアプリケーションソフトを利用でき、さらにバージョンアップにかかる手間と人件費も発生しないことになる。ただし、実際に現地業者が GPS 測位機からデータを取り出し、情報共有するため ASP にアップロードするとした場合、これらの操作を行うために相当なスキルを必要とする。輸出相手国の作業員の語学能力と IT リテラシーに応じて、中国語バージョンの作業マニュアル或いは中国語版サイトを作成し、作業員教育を徹底する必要がある。また、GPS 測位機にて記録されたデータ形式もメーカーにより形式が異なる為、データのコンバート作業が発生

使用ツール等	管理情報	排出事業者	陸上輸送	輸出者	陸上輸送	港湾(日本)	海上輸送	港湾(中国)	陸上輸送	一次処理先
GPS測位機	運搬経路	●	●	●	●	●	●	●	●	●
デジタルカメラ	車両No.	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	封印部	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	コンテナNo.	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	内容物	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	個別梱包	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日時情報		●	●	●	●	●	●	●	●	●
台費	重量	●	●	●	●	●	●	●	●	●
封印	封印の確認	●	●	●	●	●	●	●	●	●
EIR (機器受取書)	コンテナNo.・日時等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
管理伝票	重量・内容物等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
携帯電話	発着確認	●	●	●	●	●	●	●	●	●
トレーサビリティシステムの運用主体		排出事業者、輸出業者、運搬事業者(ドライバー)						一次処理先の担当者もしくは運搬事業者(ドライバー)		

Fig. 6 Management model in “Discharge facility (Japan) – Primary treatment facility (China)”

する可能性が高い。これを防ぐために、採用する GPS 測位機を統一することを推奨する。

本研究は既存の ASP ソフトである「産業廃棄物追跡管理システム」を用いて実証試験を行った。

6. 結 言

本研究は、現地の状況を十分に考慮し、導入可能と考えられる国際間のトレーサビリティシステムの考え方および運用方法を検討した。提案する国際資源循環トレーサビリティシステムの全体像を Fig. 8 に示す。実際に運用するにあたっては、システムの導入のコスト等の経済性の考慮のみならず、相手国（本論では中国を想定）の事業者への事前教育等による普及啓発が極めて重要となる。

本研究で提示したのは、あくまでも原則的な考え方である。目的を達成するためには、中国行政との連携が不可欠であり、今後トレーサビリティシステムの実運用を

通じて、その改良・高度化を継続的に行い、さらなる高度な資源循環トレーサビリティ管理システムを実現することを目指し、適正な国際資源循環ネットワークの構築に寄与することを期待する。

謝 辞

本研究の一部は、経済産業省の委託を受けて行われました。早稲田大学をはじめ、アースデザインインターナショナル、アジア経済研究所や各委員の皆様、それから資料を提供して頂いた国立環境研究所 寺園 淳様に深く感謝の意を表します。

References

1) National Institute for Environmental Studies: *NIES Public Symposium 2006* (2006)
2) Re-tem Inc.: *Ensure traceability of resource recycling network, a survey report* (2007)

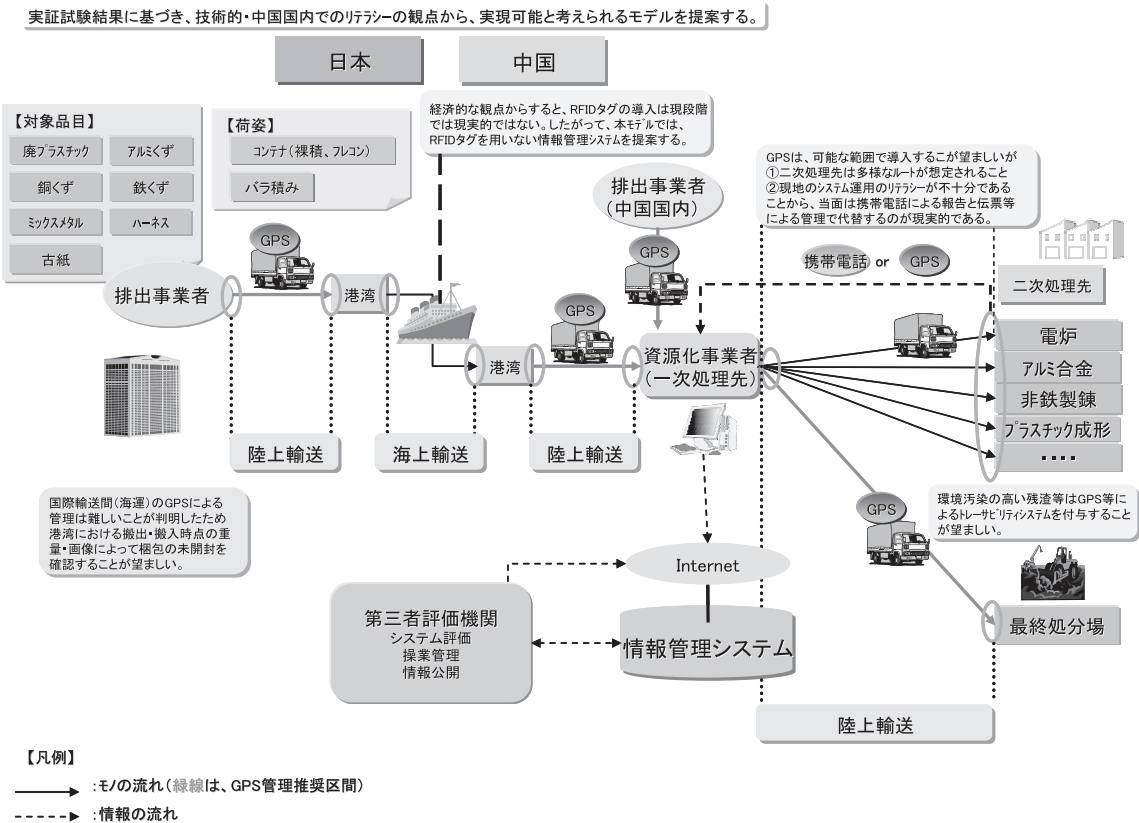


Fig. 8 General image of proposing traceability system

中国の石炭事情について¹

富 田 新 二²・平 澤 博 昭²
李 ビンルイ²

Coal Situation in China

Shinji TOMITA, Hiroaki HIRASAWA and Bingrui LI

Japan Coal Energy Center

Abstract

China is the largest coal producer in the world. Coal production of China is over 2.5 billion tonnes in 2007, which accounts for about 40% of world production. China's coal consumption has been increasing due to high economic growth. Coal companies of China continue to be in good form by favorable economic conditions and high coal price. However, coal industry in China still has a lot of issues of productivity, safety, environment, etc.

In this paper we would like to give our opinion about coal situation in China with a focus on coal production. And we also introduce some projects that Japan Coal Energy Center (JCOAL) implements in China.

Key words: Coal Production, Coal Consumption, Coal Mine Safety, Coal Mine Methane, Environmental Issue

1. 緒 言

中国は石炭の世界の年間生産量の約4割を占める大生産国である。近年の経済成長に伴い石炭消費量は増加の一途をたどっている。石炭価格の上昇により企業の業績は好調であるものの、中国の石炭産業には依然として生産性、保安、環境等多くの問題が存在する。

本報告では、最近の中国の石炭事情について、特に上流分野（開発分野）を中心として述べる。また、それらの問題解決のために（財）石炭エネルギーセンター（JCOAL）が取り組んでいるプロジェクトについてもあわせて報告する。

2. 石炭埋蔵量

中国の石炭の主要形成時代は古生代石炭紀から中生代白亜紀のものが多く、品質も低品質から高品質のものまで幅広く賦存している。

石炭埋蔵量の統計値としては、世界エネルギー会議（WEC）が3年おきに公表しているものがあり、最新データによると中国の石炭確認可採埋蔵量は、無煙炭／瀝青炭 622 億トン、亜瀝青炭 337 億トン、褐炭 186 億トン

の合計 1,145 億トンである¹⁾が、この数値は 10 年以上変更されていないため、確実性は高くない。

一方、中国国内においては、国土資源部が 2002 年の「全国砒産資源埋蔵量通報」においてデータを出しており、これによると探査資源量は 1 兆 201 億 5,000 万トンである。内訳は、資源量（経済性がない、あるいは不明な埋蔵量）6,860 億 6,200 万トン、基礎埋蔵量（現在の技術で経済性があるとされた埋蔵量）3,340 億 8,800 万トンであり、基礎埋蔵量の内数である可採埋蔵量は 1,891 億 2,200 万トンと WEC 公表値よりかなり大きな数字になっている²⁾。

WEC の最新データにおける世界の石炭可採埋蔵量は合計 8,474 億 8,800 万トンであり、中国は米国、ロシアに次ぐ世界第3位である。しかし、中国の 2007 年における石炭生産量は 25 億 2,300 万トンを超えており、これを用いて算出される中国の石炭寿命は、WEC のデータで約 45 年、中国国内データで約 75 年と決して大きな数字ではない。

3. 石炭の生産・消費・貿易

中国は世界一の石炭生産国である。1990 年代から 2000 年初頭までは毎年 10 億～13 億トンの石炭を生産していたが、2002 年に 14 億トンを突破して以来、生産量は急激に増加し、2007 年は 25 億トンを突破した。これは世

1. 平成 20 年 11 月 6 日 本会第 121 回例会において発表

2. 財団法人石炭エネルギーセンター

平成 20 年 8 月 1 日受理

界の生産量（約 64 億トン）の約 4 割に達する。

Table 1 は炭鉱分類別の石炭生産量推移である³⁾。中国の炭鉱は国有重点炭鉱（従来国の管理下にあり、現在省政府が管理している大規模炭鉱）、国有地方炭鉱（重点炭鉱以外の省あるいは県が管理する炭鉱）、郷鎮炭鉱（町村営あるいは個人経営の小規模炭鉱）の 3 つに分けられる。国有重点炭鉱は 1998 年以降管轄が国から省に移転されたのを契機に改革が進み、現在は最新設備の導入等により優れた生産性を誇っている。Table 1 から分かるように、国有重点炭鉱と並んで生産量を伸ばしているのが郷鎮炭鉱である。郷鎮炭鉱はほとんどが小規模炭鉱であるが、中国の石炭需要を賄う重要な役割を持っている。中国政府は生産性や保安状況を改善するために郷鎮炭鉱の廃止・統合による再編を進めてきた。その結果、2000 年に 30,000 以上あった郷鎮炭鉱は、現在 14,000 程度にまで減少している。しかし、強引に再編を進めた結果、中国国内の需給が逼迫することとなった。政府は安全レベルが改善された小炭鉱を順次生産再開させる処置をとり、供給量不足をなんとか回避している状況である。

Table 1 Coal Production in China

	2000	2002	2004	2005	2006	2007
国有重点	536	715	939	1,024	1,120	1,229
国有地方	194	267	297	292	320	338
郷鎮	269	434	762	836	892	957
合計	999	1,415	1,997	2,151	2,332	2,523

unit: Million tonnes, Data in 2007 is unofficial

石炭の主な消費用途は電力、製鉄、建材、化学であり、この 4 つの用途で全消費量の 80%以上を占める。特に消費量が多いのは電力であり、全消費量の約半分を占めている。中国の発電総量は 2000 年の 1 兆 3,700 億 kWh から 2005 年には 2 兆 5,000 億 kWh と急激な伸びを見せており、総発電量の約 4 分の 3 を石炭火力発電が占めているのが現状である。再生エネルギーや原子力の比率を上げる目標は立てているものの、2020 年においても 6 割以上は石炭火力が占めると予想されている⁴⁾。

Table 2 は中国の石炭輸出、輸入量の推移である⁴⁾。前述したとおり中国の石炭消費は増加し続けているが、郷鎮炭鉱の生産停止等により国内需給が逼迫し、その結果近年は輸出量が減少、輸入量が増加している。2007 年はかろうじて 200 万トンあまりの輸出超過となったが、2008 年は中国が純輸入国になる可能性がある。実際 2008 年は一時中国政府が輸出停止措置を執るなどしたため、第一四半期では輸入超過となった。ただし、6 月までの統計では、約 400 万トン輸出超過となっている。

なお、日本の中国からの輸入量は、2003 年の 3,072 万トンをピークに減少している。長い間豪州に次いで日本にとって 2 番目の輸入相手国であったが、2005 年にインドネシアに抜かれて 3 位となり、2007 年には 1,517 万トンにまで落ち込んだ。2008 年は場合によってはカナダ、ロシアにも抜かれる可能性がある。

Table 2 Coal Exports and Imports in China

	2000	2002	2004	2005	2006	2007
Export (1)	55.07	83.90	86.66	71.72	63.30	53.17
Import (2)	2.18	11.26	18.61	26.17	38.25	51.02
(1) - (2)	52.89	72.64	68.05	45.55	25.05	2.15

unit: Million tonnes, Source in 2006/2007: in-en.com

中国は石炭自給の困難を十分に理解しており、近年はインドネシア、豪州等海外炭鉱の権益取得に乗り出している。現在発電用の一般炭では日本が必要とする炭質と必ずしも一致していないが、製鉄用の原料炭は世界でも埋蔵量が少なくなってきたことが指摘されており、今後獲得競争が激化することが予想される。

4. 保安問題とその対策

石炭採掘産業は他の業種と比較して事故の危険性が高いと一般に認識されている。近年は総合機械化やモニタリング等による保安対策が進み、従来よりも状態は改善されているが、特に坑内掘炭鉱においては閉鎖された空間における作業であることや、石炭から湧出するメタンガスが存在することなどから、依然危険の高い産業であることには変わりがない。

中国の炭鉱事故死亡者数は、他の石炭生産国と比較して突出して多い。大まかに分類すると、年間死亡者数がゼロあるいは一桁であるのは豪州、英国等であり、10～50 人は米国、南アフリカ、インドネシア、ベトナムである。インドは 100 人前後であり、世界で中国に次いで死亡者数が多いとされるロシアやウクライナの年間死亡者数は 150～300 人程度である。しかし、中国の炭鉱死亡者数は桁違いに多く、2006 年の死亡者数は 4,746 人である。Table 3 に中国の炭鉱死亡者推移を示す³⁾。2003 年以降死亡者数は毎年着実に減少しており、保安対策が進んでいるとも言われるが、この数値は国家煤礦安全監察局の公表値であり、実際には隠れた死亡者が相当数いると指摘する報道機関もある。なお、正式な文書での公開はまだされていないが、国家煤礦安全監察局が 2008 年全国安全生産工作会议において報告した 2007 年炭鉱死亡者数は 3,786 人である。

Table 3 Coal Mine Accident Fatalities in China

	2002	2003	2004	2005	2006
国有重点	904	894	854	984	704
国有地方	1,023	881	816	570	611
郷鎮	5,068	4,659	4,357	4,384	3,431
合計	6,995	6,434	6,027	5,938	4,746

Table 3 から明らかなように、郷鎮炭鉱の死亡者が特に多い。これは生産優先で規制を無視し、保安対策をとっていないことが大きな原因であり、政府が郷鎮炭鉱の再編を進める大きな理由である。

Table 4 は 2006 年の事故種別炭鉱死亡事故数および死亡者数を示している。中国において深刻な災害は落盤、ガス関連の災害である。落盤は Table 4 の件数・死亡者数を比較しても分かるが、1 回の事故で大人数が犠牲になるようなものではないが、頻発して発生する災害であり、防止策は先進国でも重大な課題となっている。中国の炭鉱は 9 割以上が坑内掘炭鉱である。採掘深度も年々深くなっているため（現在の採掘深度は-600~-700m）、落盤事故の危険性もより高くなっているのが現状である。一方ガス関連の事故（ガス爆発、ガス突出）は、1 回の事故が大きな被害につながる。中国の石炭は一般にガス包蔵量が多い反面ガス透過率が低く、また石炭強度が低いいため、ガス抜き等によるガス排出の効率を向上させることが困難である。これがガス災害の減少が進まない一因となっている。

Table 4 Fatalities by Accident Type (2006)

	No. of Accidents	Fatalities
Rock fall	1,633	1,902
Gas	327	1,319
Machinery / Electrical	94	93
Haulage	467	517
Blasting	78	90
Water	100	417
Fire	7	26
Others	239	382
Total	2,945	4,746

JCOAL は、過去の日本の炭鉱で蓄積された技術を中国の炭鉱に移転し、かつ現地に対応できるように技術を適用化する事業を平成 14 年度～平成 18 年度の 5 年間、安徽省淮南において実施した。ガス関連の集中監視システム、長孔ボーリング技術（Fig. 1 参照）、通気管理技術等の適用化を行い、成果を上げた。また、平成 14 年度以降、JCOAL と鉋路コールマイン（株）は中国に対して炭

鉱技術の移転事業を行っている。現地の中国人研修生を日本へ受け入れ鉋路炭鉱において研修を行うとともに、現地へも日本人専門家を派遣して教育を実施している。

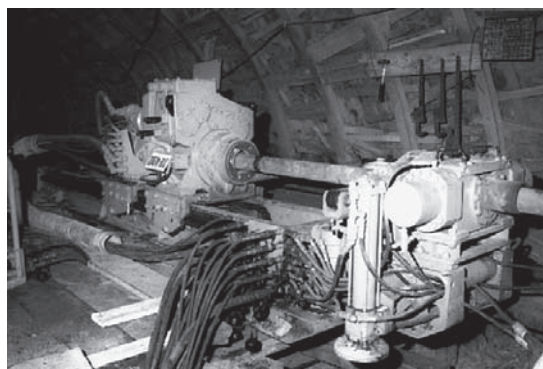


Fig.1 Directionally Controlled Boring Machine

中国の炭鉱は、経営者、労働者双方の保安意識を向上させることがまず重要であると思われる。保安の向上が石炭の安定生産につながることを教育していけば、死亡事故はさらに低減できるものと期待される。

5. 環境問題とその対策

前述のとおり中国は電力供給の 4 分の 3 近くを石炭火力発電に頼っており、この発電のために年間石炭消費の半分以上が使われている。中国では石炭を原炭のまま使用することが多く、また、発電効率があまり高くないため、環境問題が深刻になっている。前者については、使用前に石炭を選炭することにより、硫黄分を始めとする不純物を取り除き、酸性雨等の問題を低減することができる。JCOAL も平成 9 年度～12 年度に貴州省盤江に選炭設備を導入するなど事業展開をしてきた。2006 年の石炭生産量 23 億 3,200 万トンのうち選炭されたのは 1 億 5,000 万トンあまりにすぎないが、選炭量は少しずつ増加しており、今後の取り組みが期待される。

発電効率についてみると、中国の発電端熱効率率は平均 34.6%（2003 年）であり、同年の日本における効率 41.1%と比較してかなり低い。中国では 100MW 以下の小規模石炭火力発電所を閉鎖し、100MW～400MW の中規模火力発電所については、高効率化・環境対策を施し延命化する方針である。熱効率が向上できれば石炭消費量と温室効果ガスである二酸化炭素の排出量をもとに低減することができる。日本の石炭火力における高効率化・環境改善のための技術に関する中国側のニーズは極めて強く、このような状況下において JCOAL は、中国の既設石炭火力発電所の診断から設備改善までをリノベーション事業と位置付け、電気事業連合会、電力各社、メーカーの

協力を得て事業展開を図っている。本事業は、平成 17、18 年度の事前調査を踏まえて、平成 19 年 4 月に開催された日中エネルギー協力セミナー（経済産業省・中国発展改革委員会主催）において、馬凱中国発展改革委員会主任及び甘利経済産業大臣列席の下、中国電力企業連合会（CEC）、国際協力銀行（JBIC）及び JCOAL が覚書を締結して本格的にスタートしたところである。

6. 炭鉱メタンガスの回収・利用

石炭の中にはメタンガスが含まれている。メタンガスは濃度 5%～15%において爆発性を持つために、坑内掘炭鉱では通気やガス抜き等による対策が重要になる。一方、このメタンガスは二酸化炭素の約 21 倍の温室効果を持つとされており、メタンガスをそのまま大気中へ放出することは地球温暖化の観点からすると非常に大きな問題となる。

炭鉱から排出されるメタンガスは大別すると CBM（Coal Bed Methane；炭層メタン：採掘していない炭層に含まれるメタン）、CMM（Coal Mine Methane；炭鉱メタン：石炭採掘に伴い湧出するメタンあるいはガス抜きにより回収されるメタン）、AMM（Abandoned Mine Methane；廃坑メタン：閉山炭鉱から回収されるメタン）、VAM（Ventilation Air Methane；通気メタン：炭鉱における通気中に含まれる低濃度メタン）に分けられる。現在稼働中の炭鉱に関して言えば、排気坑道から扇風機で排出されている VAM とボーリング等により回収される CMM が問題となる。

中国の 2005 年における石炭生産量、メタンガス湧出量・生産量を Table 5 に示す。この湧出量・生産量には CBM も含まれている。また、2010 年の値は第 11 次 5 年計画における目標値である。2005 年に利用されたメタンは 10 億 m³ と全体の僅か 7%弱にとどまっている。

CMM を効率よく回収できれば、温室効果ガス排出削減につながるだけでなく、メタンガスをエネルギーとして有効利用できるため、石炭消費量を抑制することも可能となる。また、CMM の回収利用は CDM（クリーン開発メカニズム）として認められる可能性もある。

石炭を採掘すると炭層やその周辺岩盤からメタンガス

が湧出してくるが、これを通気により安全に希釈して坑外に排出するものが VAM である。通気による希釈で十分に対処できない場合は、炭層に対して事前にボーリングを行い、負圧をかけてガスを抜く作業が行われる。これがガス抜きであり、ガス抜きされたガスは坑内に張り巡らされたパイプを通して回収される。これが CMM となる。中国の炭層は一般的に軟弱なためにボーリング孔が崩壊しやすく、また、透過率が低いためにガスがなかなか抜けないという問題がある。中国において CMM 回収率を向上させるためには、既存ボーリング技術の改良や新技術の開発が必要である。現在ガスが抜けないうちに無理に負圧をかけて回収している場合が多く、その結果空気の流入などにより回収ガス濃度は一般的に低く、また、濃度も不安定である。法規上濃度 30%未満のメタンガスは利用することができないため、ガス抜きで回収しても多くのガスが大気中に放出されることになる。

Table 5 から分かるように、中国は第 11 次 5 年計画において、CMM の利用を大幅に増加させることを目標にしている。また、現時点で濃度 30%未満のメタンガスは原則として利用できない（特別許可により利用している例はある）が、近々その規制が緩和されるという情報もある。中国製のガスエンジンは低濃度ガスや濃度変動に対応できないが、日本の技術では対応可能である。JCOALはこれに関連する 2つのプロジェクトに携わっている。

1 つは低濃度 CMM と VAM を用いるガスエンジンの適用試験である。これは三菱重工業（株）製のガスエンジンを用いて低濃度 CMM 発電を実施しようとするものである（Fig. 2）。

もう 1 つは低濃度 CMM の濃縮技術開発であり、これは大阪ガス（株）、（株）ガスアンドパワーインベストメントの選択的メタン吸着材料を用いて低濃度 CMM の濃度を高めようとするものである（Fig.3）。いずれも現在利用の進んでいない低濃度 CMM と場合によっては VAM の利用も見込めるものであり、技術の実証ができれば中国炭鉱における環境問題解決に大いに貢献できるものと期待される。CDM 案件形成のポテンシャルが大きいことは日本側にとってもメリットがあると思われる。

Table 5 Coal & Methane Production in China

	2005 (actual)	2010 (goal)
Coal Production (Million tonnes)	2,151	> 3,000
Methane Emission / Production (Billion m ³)	15.0	17.7
Liberated	14.0	9.0
Used	1.0	8.7

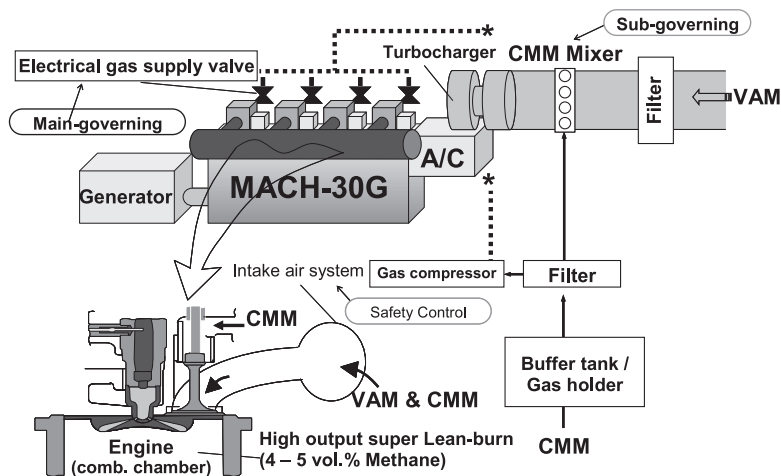


Fig. 2 Lean-burn CMM/ VAM Gas Engine

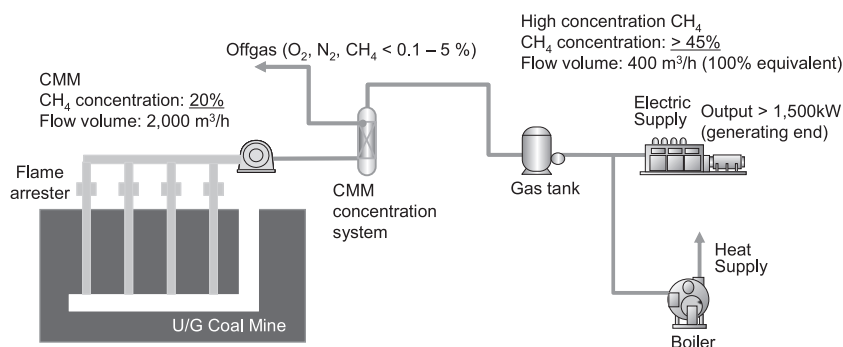


Fig. 3 CMM Upgrading System

7. 結 言

中国の石炭業界について、特に上流分野（開発分野）を中心としてとりまとめた。中国は急激な経済発展を続けてきたものの、消費の拡大への対応が限界に近くなり、石炭の自給にも陰りが見えてきた。生産・保安のみならず環境に関しても多くの問題を抱えており、また、本報告では触れていないがインフラ整備など他にも課題は多い。

環境対策として我が国の技術が入っていく余地は十分にある。特に CMM に関してはポテンシャルもあり有効であると思われるが、実際の商業化に際しては、炭鉱

経営、災害、政府対応等のリスクも十分考慮することが必要である。

References

- 1) World Energy Council, *2007 Survey of Energy Resources* (Italy), pp. 1-40 (2007)
- 2) *China Energy Development Report 2007* (China), (2007)
- 3) State Administration of Coal Mine Safety, *China Coal Industry Yearbook 2000 - 2006* (China), (2000 - 2006)
- 4) National Bureau of Statistics of China, *China Statistical Yearbook 2006* (China), pp. 259-276 (2006)

中国におけるクリーンエネルギーを核とする石炭液化の動向と課題¹

黎 曉紅²

Activity and Subject of the Coal Liquefaction as the Core of Clean Energy

Xiaohong LI

Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Environmental Engineering,
The University of Kitakyushu

Abstract

China is the country, world No. 1 in coal production and consumption, No. 2 in energy production and consumption and No. 3 in petroleum consumption. China, rich in coal, has 200-300 billion ton, which accounts for about 30 % of world total coal reserve. On the other hand, oil reserve is relatively poor, which only accounts for 2.4 % of the world total reserve. 63% of total energy supply in China is supplied by coal. The majority of the pollution problems are due to coal combustion, which accounts for 2/3 of China's energy demand. 1/3 of the land has been polluted by acid rain. Therefore, China should focus on developing vehicle fuel and alternative oil products and working properly on the trial demonstration, development and application on CTL, CTM, DME, Olefin and coal-based multi-generation technology.

Key words: CTL, CTM, DME, Clean fuel, China

1. はじめに

中国は石炭資源が豊富だが、石油・天然ガス資源が乏しいので、石炭を原料とする化学工業の発展が著しい。中国の石炭資源量は世界の3割に及び、石炭消費量は一次エネルギーの67%を占めている。しかし、石炭利用はいまだに80%が直接燃焼であり、二酸化硫黄が年間1,900万トンも放散されている。一方、DMEなど合成燃料はクリーン輸送、民生燃料であり、石炭から製造できることが分かる。経済性と環境問題と合わせて考えると合成燃料の原料は石炭の方が有利である。ここでは、中国におけるクリーン燃料の生産、利用について紹介する。

2. 中国のエネルギー事情

中国のエネルギー生産量と消費量は膨大なものであり、石炭の生産量と消費量は世界第1位、エネルギーの生産量と消費量は世界第2位、石油の消費量は世界第3位である。中国の化石エネルギーの埋蔵量は石炭については世界全体の30%であるが、石油は世界全体の2.4%しかない。このため中国は2003年に9,112万トンの石油を輸入した。これは中国国内消費量の約30%に当たる。2010年には石油の輸入量は2億9,600万トン、輸入依存度は46~52%と予測される。

急増する石油需要の原因は急速なモーターリゼーションであり、2005年には、ガソリン消費量が4,058万

トン、ディーゼルの消費量が4,023万トンである。2010年には、ガソリンの消費量が4,993万トン、ディーゼル消費量が5,501万トンと予測される。中国の一次エネルギーは石炭が67%、石油が23.6%、天然ガスが2.5%、水力が5.9%、原子力が1%である。エネルギーの地域分布については、北部が南部より多いであり、西部が東部より豊富である。エネルギー種類分布については、北部は石炭、南部は水力、西部は石油と天然ガスである。更に長期的には農業国である中国で膨大な量生産される農業副産物（稲わら、麦わら、とうもろこしがら）などを原料とすれば、石炭の消費が抑制され、地球温暖化防止にも大きく寄与し得ると期待されている。

3. 合成燃料の生産コスト及び経済性

中国では20世紀50年代から天然ガスを原料とするメタノールの製造が始まった。その後、石炭ガス化技術の発展に伴い、石炭を原料とするメタノールの合成が主流になった。2003年メタノール合成用原料については、石炭が65.6%、天然ガスが29.5%、その他4.9%であった。3種類原料のメタノール及びDMEの生産コストをTable 1に示す。いずれの原料においても、メタノールとDME生産の経済性があるが、中国では、天然ガスとコークスガスの分布に制限され、石炭を原料とする液体燃料の合成は将来でも主流の合成路線と考えられる。

4. メタノールの生産と利用

メタノールは燃焼性能良く、オクタン価が110~120である。代替燃料として、20世紀80年代からメタノール

1. 平成20年11月6日 本会第121回例会において発表

2. 北九州市立大学国際環境工学部循環エネルギー工学科
平成20年7月11日受理

Table 1 Comparison of various energy sources

原料	原料価額	メタノール 合成コスト 元/t	DME 合成コスト 元/t
石炭	120 元 /t	800~1000	~1950
天然ガス	0.7 元 /m ³	1000~1200	~2340
コークス ガス	0.3 元 /m ³	600~800	~1560

ル燃料とメタノール自動車の研究開発を行った。1980年から四川省、山西省で、M90自動車エンジンを開発し、14台メタノール乗用車の走行試験を完成した。1998年上海大衆（SHANGHAI VOLKSWAGEN）社はM15の乗用車、トラックの走行試験を行った。現在でも、メタノール自動車は部分の都市で運行試験を行っている。

中国では、石炭からのメタノール製造技術が熟成され、各種類の石炭から製造できる。製造技術レベルも向上し、特に低圧合成技術、銅系触媒の技術も大幅に向上した。設備及び材料も国内で自給できる。2003年メタノールの消費量は430万トン、その中に40%が輸入したものである。

5. DMEの生産とビジネス

中国では今DMEの生産が各地で計画されており、小規模なパイロットプラントが次々と導入されている。

1994年、広東省中山市精細化工実業公司是西南化工研究院の技術を採用し、2,500トン/年の高純度DMEの工業化装置を建設した。現在5,000トン/年の生産規模に到達している。この装置はメタノールの脱水プロセスを採用しており、1994年末に稼動して以来、正常に稼動しており、メタノールの転化率は80~83%、製品の純度は99.95%を上回っている。

1995年四川省では成都華陽威遠天然ガス化工は、天然ガスを原料とする2,000トン/年のDME生産装置を建設した。同年12月に稼動試験に成功し、エアゾル用のDME製品を生産している。

上海石油化工研究院は800トン/年の装置を建設した。又、江蘇省昆山に1,000トン/年のDMEモデル生産装置を建設した。

陝西新型燃料燃具会社は中国科学院山西石炭化学研究所と共同で、石炭原料とする直接燃料グレートDME生産技術を研究開発した。1997年6月300トン/年の生産ラインを建設稼動した。又、当社は石炭1段法で200,000トン/年のDMEの超クリーン燃料製造開発の工事を計画しており、工事総投資は20.3億人民元である。

四川省重慶市は石油資源が不足しているが、豊富な石炭、天然ガス資源がある。数年前より、重慶英力燃料化

学会社は、清華大学のスラリー床1段法のDME製造技術を採用し、天然ガス原料とする3,000トン/年のモデル装置を建設し、2004年3月に稼動した。全プロセス、設計、設備製造、触媒等について、自主的工業所有権を持っている。これを基礎にして、技術のトレース及び追従する産業化の作業を進展させており、大規模工業化生産装置の建設に取り組んでいる。

2002年に四川省の瀘天化集団は天然ガス原料とするメタノール脱水より二段法の10,000トン/年のDME装置は2003年8月に稼動し、生産品の純度は99.69%の優良品質DMEである。この技術は日本の東洋エンジニアリング(TEC)から導入された。この後、瀘天化は更に10万トン/年のDME装置を建設し、メタノール装置は、東洋エンジニアリングのMRF-Z反応器を含む、Synetix社の技術を採用している。2005年に稼動することが決まっている。

山東久泰化工科技株式会社はDMEの生産、販売がビジネスとして定着させ、急速に発展させている。ビジネスの基本方針は国内の安価な石炭からDMEを製造し、LPG代替の市場を開拓する。2001年に5,000トン/年の規模でDMEの生産を開始した。2003年12月には第1期工事として30,000トン/年のDME製造プラントを竣工し、現在生産中である。DME製造プロセスは石炭原料メタノールからの間接法である。現在の製品はメタノールとDMEであり、実際の生産能力はメタノールが250,000トン/年、DMEが100,000トン/年である。石炭ガス化、メタノール合成、DME製造（間接法）のいずれも中国国産技術によるもので外国技術は導入していない。特にメタノールからDMEを製造する技術は久泰で特許を保有する。当社は3~5年以内に100万トン/年のDMEプラントを内モンゴルで建設する計画であり、現在基礎建設が進行中である。同社によれば現在のDMEコストは3,000元/トンとのことであるが、100万トン/年のプラントでは1,200元/トンにまでコスト低下すると予想している。2005年6月から同社は内モンゴルのオルドス市と共同で100万トン/年のプラント設備建設を開始しており、内モンゴルではDMEコストが1,000元/トンになる見込みである。また、2005年4月から広東省南沙（トヨタ自動車工場の隣）での20万トン/年（メタノールから脱水工程のみ）のプラント設備建設を開始した。

山東久泰化工科技会社はDMEの純度に応じて規格を定め、それぞれに異なる価格を設定している。民生用、自動車用（純度98%以上）は4,000元/トン、エアゾル用（純度99.9%以上）は6,000元/トンである。販売価格はLPGに競争する価格で決められているようで、現在のようなLPG価格の高騰では大きな利益を上げていると推測される。

販売量：民生用は年間15,000トン、スプレー材・発泡剤・冷媒は年間10,000トン、自動車用燃料は年間

4,000 トン、LPG との混合での民生用 (DME 約 30～35% 程度) は年間 15,000 トン、セラミック焼成などの工業炉用は年間 5,000 トンである。

久泰の拡大後の販売分野について、内モンゴルの設備からは、北京向けの供給を考えていて、広東省の設備からは、広州市およびその周辺への供給を考えている。スプレー材としては数%、残りは LPG 代替のエネルギーとして供給する。

6. DME 生産技術

中国の DME の研究開発は 20 世紀 80 年代より開始した。80 年代末には石炭ガスを用い直接 DME を合成する生産プロセスの研究を開始し、引き続いて合成の触媒の開発に成功した。1997 年には中国科学院山西石炭化学研究所は山西省大同市に初めての石炭ガスを用いた 300 トン/年の DME 直接生産のモデル装置が建設され、現在運転中です。精華大学と精華紫光英力化工技術有限責任会社は、2004 年 3 月から四川省重慶で天然ガスを原料とするスラリー床一段法による DME プラント (生産能力 3,000 トン/年) を立上げ、現在運転中です。

現在 DME の製造について、直面しているいくつかの重要技術問題点は以下の通りである。

- a) 高効率、低価格の石炭ガス化プロセス及び設備 (一日当りの石炭処理量: 2,000～4,000 トン以上) が必要である。高効率を得るには大規模化が必要である。
- b) 一段法の大型 DME 生産を満足させる反応設備が必要である。これにより、ケミカル生産の投資とエネルギー消費を低減することが可能となる。
- c) 石炭を原料として DME を生産する過程における二酸化炭素の利用解決が必要である。大幅に二酸化炭素の排出を低減し、生産過程で純二酸化炭素を分離でき、処理コストも低い技術と設備が必要である。
- d) 関連する新しい高効率触媒、特に耐硫黄触媒の開発と生産が必要である。
- e) DME の分離と高純度化成熟した、経済的な技術などが必要である。

7. 民生用燃料

中国の LPG 消費量は世界第 3 位であり、生産量も世界第 4 位である。2002 年中国の LPG の生産量は 1,190 万トン、表面上の消費量は 1,620 万トンであった。2003 年の LPG 消費量は 1,933 万トンに達した。中国の 90 年代以降の LPG 消費の伸び率は 20% 以上であり、世界の中で最も消費の伸びの速い国である。国内の LPG 増産能力に限りがあり、LPG は輸入に大きく依存しており、既に日本に次いで世界第二位の LPG 輸入国である。2002 年の LPG の輸入量は 626 万トンである。もし DME が輸入 LPG の 50% を代替すれば、必要な燃料の DME

は 300 万トンである。2012 年の中国の LPG 輸入量は 950～1,000 万トンに達すると予測されており、DME の必要量は 400～500 万トンとなる。このため、DME が民生燃料として発展する可能性は非常に高い。現在、中国の大中型都市の民生燃料は、天然ガス、石炭ガス、LPG などが主である。DME は低圧で液化し易く、貯蔵も簡単であるため、都市ガス、LPG 代替の民生用燃料として期待できる。

DME を単独で燃料とする場合、その蒸気圧は LPG 同等であることから、現存の LPG シリンダーに充填が可能であり、コンロも LPG のコンロを少し改造することにより利用ができる。DME 自体には酸素を含んでいるため、煤も発生せず、残液もなく、燃料排出ガスも完全に中国の国家の衛生基準に符合しており、理想的なクリーン燃料である。

また、DME は都市ガス或いは天然ガスに一定の割合で混合させるピーク調整用として使用ができ、都市ガスの品質を改善し、カロリーを向上させることができる。民生用燃料として DME は LPG と比較し、以下の特長がある。

- a) 同等の温度において、DME の飽和蒸気圧はプロパンより低く、貯蔵・運送において LPG よりも安全である。
- b) DME の空気中における爆発下限 LPG よりも倍高く、使用過程において、DME は LPG よりも安全である。
- c) DME のカロリーは LPG よりも低いものの、DME 自身に酸素を含むため、燃料の過程で必要な空気量が LPG よりも少なく、DME の混合ガス熱量および理論燃焼温度は LPG よりも高い。陝西新型燃料燃具会社は中国科学院山西石炭化学研究所と共同で LPG 代替の DME の開発に成功した。西安市は既に民生用燃料として何年も使用しており、効果も良好である。

現在、四川省建設委員会は既に LPG 代替の業界基準を提出しており、DME 普及及び使用の基礎が打ち立てられている。民生用燃料が一旦全国範囲で広がれば、LPG 代替市場が起動することになり、将来の市場が開ける。

8. 自動車用燃料の代替

現在中国が採用している代替燃料には、LPG、CNG、LNG、エタノールガソリン、メタノールガソリンなどが含まれており、これらの代替燃料は都市の環境保護の改善に非常に有効である。LPG、CNG などの代替燃料の自動車は、既に北京、上海などの大規模都市で一定の規模を形成している。河南省、黒龍江省、吉林省などで、エタノールガソリンをテストポイントとして推進されている。

西安交通大学と第一自動車は 5 年近くをかけて中国初

めの DME の軽油エンジン自動車の改造を協力開発し、試験を行っている。試験によれば、DME を使用後、エンジンの効率が 10～15% 向上し、熱効率も 2～3% 向上し、ノイズは 10～15% 減少し、ユーロⅢの排出ガス基準もクリア出来ている。

中国の科学技術省の「クリーンの自動車の行動計画」と上海科学技術委員会の支持下で、上海交通大学燃焼環境技術センターと上海自動車工業（集団）公司は DME 自動車に関わる国家科学技術プロジェクトを受けて、上海申沃バス有限公司、上海ディーゼル・エンジン有限公司、上海華誼集团公司、上海コークス有限公司など協力して、みごとに中国の第 1 台目の DME 都市バスを開発して、2005 年 4 月 27 日に国家の科学技術省の成果検査を受けて、合格した。このバスの動力が力強く、ノイズが低く、排出ガスはユーロⅢ規制をクリアし、徹底的に都市公共交通バスの黒煙問題を解決した。中国の自動車領域で独自の知的所有権に関わる科学研究成果を得た。

9. 中国における DME 導入戦略

中国における DME 導入の戦略を練っている中国工學院の倪維閣院士は、DME 導入の課題を価格、技術、政策の 3 つの面から検討し、次のように提案した（2003 年）。

まずコスト、中国は 1990 年に LPG をわずか 11.7 万トン/年輸入していなかったが、10 年後の 2000 年には 482 万トン/年輸入しており、実に 41 倍以上も輸入が増加した。5 年以内に中国では 500～1,000 万トンの DME 需要が見込まれ、市場ニーズの問題は無いと言える。DME は安全・便利に輸送できる。しかし高価な燃料であるので、生産量が少なくとも数万トン/年以上の産炭地で生産してコストダウンに努める必要がある。

次に技術、これにはまだ多くの課題がある。まず、高い効率で安価に生産できる石炭ガス化の技術と設備が絶対に必要である。DME 生産設備はスケールメリットが大きいので、より大型の DME 製造設備を実現すべきである。石炭から DME を製造する際に炭酸ガスが副生するが、その有効利用を考えるべきである。DME 製造に関連した触媒の開発とその生産も改善余地は大きいといえる。最後に DME の分離・精製技術も、より高度化する必要がある。

最後に政策、DME 製造設備は多額の投資を必要とするので、政府が投資と税制の両面から支持して行く必要がある。年間 20 万トンの DME を生産し、発電に利用するプロジェクトには約 20 億元（2.44 億ドル）が必要

であり、投資回収期間は 8～10 年かかる。

現在 DME のプロジェクトへの投資は大体 3 つのルートがある。まず企業自身から、次に地方と国からの組合わせ融資、最後に外国の企業からの投資あるいは政府からの融資がある。

税制面では、DME 製造設備竣工後に軽減あるいは免除措置が必要である。軽油の 6～7 割の低環境負荷であるから、減少分を政府が評価することは合理的である。

10. 石炭の液化（CTL）

a) 間接液化

石炭の間接液化とは、石炭を合成ガス（ $\text{CO}+\text{H}_2$ ）へ変換して、合成ガスから炭化水素を製造する技術である。国の基本的な戦略は、①導入と開発を並行して進めて、自主開発に立脚する。②2 セットの熟している間接液化生産ラインを導入して、運行する。同時に自主的に技術開発を加速して、着実に産業を形成する。石炭の液化により、石油の需要と供給の対立を緩和することを実現する。

自主開発は、中国科学院山西石炭化学研究所を中心して行う。固定床の年間 2000 トン生産量のパイロットプラントの運行を完成し、スラリー床の 1000 トン/年のパイロットプラントは進行中である。

b) 直接液化

中国では、石炭の直接液化の研究は 20 世紀 70 年代から始まった。現在神華集団は年間 250 万トン直接液化プロジェクトが始まり、進行中である。

11. 結 語

石炭からクリーン石油代替燃料の製造により、環境問題の解決と石油の輸入依存性を下げることができる。しかし、合成燃料の製造過程で、水は不可欠資源である。中国では、石炭は西北部に分布し、水資源は南部が豊富であるため、南方の水を北方へ引くことが必要である。また、生産過程での環境汚染を考慮しなければならない。そのクリーン生産技術の開発も必要である。現時点で、石炭から合成燃料の製造については、経済効果は決して優位を占めないが、しかしその社会的効果と国家のエネルギー安全供給を考えると極めて重要である。

References

Strategic Research Reports on China's Sustainable Energy Development, Science Press (2006)

中国の都市大気汚染と健康影響¹

田 村 憲 治²

Urban air pollution and the health effect in China

Kenji TAMURA

Environmental Health Sciences Division, National Institute for Environmental Studies

Abstract

Many big cities in China face serious air pollution from factory flue gas, car exhaust, and soot from community central heating using coal combustion. In the past 10 years, the notable air pollution from sulfur dioxide has been improved. However, according to the Air Pollution Index announced by China's Ministry of Environmental Protection, the PM₁₀ concentration in Chinese cities was estimated at 3-5 times that in Japanese cities. Our epidemiological survey conducted in Shenyang confirmed a fall in lung function among school children as a result of air pollution. The influence of China's air pollution is already appearing in Japan, and an immediate response is needed.

Key words: PM_{2.5}, API, Coal combustion, Pulmonary function, Photochemical oxidant

1. はじめに

北京オリンピックを契機に、中国の大気汚染問題が世界的に大きな関心を集めている。日本との関係においては、かつて酸性雨が問題になったときになった。中国大陸からの大気汚染物質の関与が疑われたが、次いで黄砂の飛来や高濃度光化学オキシダントの観測など、中国の大気汚染は日本国内の大気環境にも大きく影響していると考えられる。中国の大気汚染状況については環境監視体制の遅れや情報公開の障壁があり、実態については分からない点が多いが、公表データにより概要を整理し、私がこれまで中国で実施してきた調査結果などを紹介し、健康影響について考察したい。

2. 中国の都市大気汚染の現状

中国の大気汚染といっても、地域によって様相は異なっている。北京、上海、広州など中国の近代都市では自動車排出ガスが大気汚染の主要因となっている。一方、工場の煤煙対策が遅れている都市ではこれが依然として激しい大気汚染の原因となっている。また、揚子江以北の大都市では、11月から3月まで地区ごとに設置した石炭ボイラーで作った熱湯を住宅団地に回す地域暖房を行っているため、この期間には都市全体が高濃度の煤煙に覆われる。

1. 平成 20 年 11 月 6 日本会第 121 回例会において発表

2. 国立環境研究所環境健康研究領域

平成 20 年 8 月 11 日受理

中国の大気環境基準は、日本や欧米とほぼ同程度の濃度で設定されているが、2000 年以前の大気汚染状況については、「中国環境年鑑」等で二氧化硫黄 (SO₂)、窒素酸化物 (NO_x)、総浮遊粉塵 (TSP) について主要都市の年平均濃度が公表されるだけであった。これをもとに石炭燃焼由来が主と考えられる SO₂ 濃度を見ると、1990 年代までは 0.1 ppm 以上の濃度になっている都市があったが、これは日本で大気汚染が最も激しかった 1960 年代の工業都市に相当する。現在では徐々に低下し 0.02 ~ 0.03 ppm のレベルであるが、現状でも日平均が基準 (0.06 ppm) をしばしば超えていると推測される。ちなみに 2005 年における東京の一般環境大気測定局の年平均濃度はちょうど 1 桁低い 0.0023 ppm である。二酸化窒素 (NO₂) 濃度は 2000 年以降も余り低下せず、北京や上海では 0.03 ppm を超え、自動車由来の大気汚染が深刻なことを窺わせる。環境基準は日本と同じ日平均濃度で 0.06 ppm である。東京では一般局の平均が 0.025 ppm、沿道測定局の平均が 0.036 ppm であり、北京や上海市内の平均濃度は東京の沿道とほぼ同じレベルと考えられる。大気中の浮遊粒子については、小さい粒子の方が肺の奥まで侵入し有害性も高いことから、中国でも 2000 年ころから 10 μm 以下の粒子 (PM₁₀) 濃度に切り替えて測定するようになった。年平均濃度は 2003 年から公表されており、その後はほぼ横ばいといえる。日本の環境基準で定める浮遊粒子状物質 (SPM) は 10 μm 以上の粒子を 100% 除くものであるため、10 μm での除去率 50% の PM₁₀ に比

Table 1 The API value and corresponding pollutant concentration

API	Pollutant Concentrations (mg/m ³)				
	SO ₂ (daily average)	NO ₂ (daily average)	PM ₁₀ (daily average)	CO (hourly average)	O ₃ (hourly average)
50	0.05	0.08	0.05	5	0.12
100 (AQS)	0.15	0.12	0.15	10	0.2
200	0.8	0.28	0.35	60	0.4
300	1.6	0.565	0.42	90	0.8
400	2.1	0.75	0.5	120	1
500	2.62	0.94	0.6	150	1.2
Japanese AQS	0.105	0.113	0.100	11.2	0.118

べ粗大側の粒子が除かれており、除去率 50%の粒径は 7 μ m (即ち PM₇) 程度であるといわれる。従って、PM₁₀ 濃度と SPM 濃度を直接比較できないが、年平均濃度が 0.1~0.2mg/m³ という北京の汚染レベルは、東京の SPM 濃度の年平均 0.03 mg/m³ に対して、3~5 倍に相当すると 言って良いであろう。

中国国内で観測態勢の整備と環境問題への関心の高まりもあり、2000 年半ばから全国 86 都市の大気汚染指数 (API) が中国環境保護部のホームページ¹⁾で毎日公表されるようになった。また北京、上海など、市内の測定地点ごとの API を公表している都市もある。API 値と汚染物質濃度との対応を Table 1 に示す。各汚染物質について市内全ての 24 時間 (前日正午から当日正午) 平均濃度を求め、最も大きな API 値とそれを規定した汚染物質名が公表される。ここで API 値の 100 が大気環境基準 (AQS) に相当する。濃度はすべて mg/m³ で示されており日本の ppm とは異なるので注意が必要である。比較のため、下段に日本の環境基準を mg/m³ に換算したものを記載した。なお、一酸化炭素 (CO)、オゾン (O₃) についても API 値が決められているが、現状ではこれらを除く 3 種の汚染物質の測定値だけで API 値を決定して公表

Table 2 Primary pollutant and API value of Chinese cities

Primary pollutant	Shenyang		Beijing		Shanghai		Chongqing	
	Days	%	Days	%	Days	%	Days	%
PM ₁₀	2,636	95.1	2,348	84.7	2,063	74.4	2,271	82.0
SO ₂	73	2.6	212	7.7	112	4.0	337	12.2
NO ₂	0	0.0	0	0.0	11	0.4	0	0.0
Excellent (API<50)	62	2.2	211	7.6	585	21.1	163	5.9
Days (total)*	2,771		2,771		2,771		2,771	
Average API	95.4		103.9		71.8		90.6	

* Since January 1, 2001 to July 31, 2008

しているようである。

Table 2 に、われわれが調査対象都市とした瀋陽 (Shenyang)、そして北京、上海、重慶 (Chongqing) の 4 市について、汚染物質ごとに API を規定した日数を示した。他のほとんどの都市でも PM₁₀ が大部分を占め、暖房期に濃度が高くなる SO₂ がわずかに現れる程度である。なお、上海の SO₂ は季節を問わず PM₁₀ 濃度の低い日に出ており、工場由来を示唆する。また重慶の SO₂ の日数はこの 3 年間で急激に減っている。日本では通常の汚染濃度レベルである API が 50 以下の「優」と評価される日は、上海では 21%であるが、北京では 8%、瀋陽ではわずか 2%である。Fig. 1 に API 月平均値の変遷を示した。北京で毎年春に増加しているのは黄砂に依るもので、黄砂の酷さは年平均値まで大きく左右してしまうほどである。さて、API 値がほとんど PM₁₀ 濃度で決まるため、API 値から日々の PM₁₀ 濃度や、月平均、年平均の濃度を知ることができる。北京の場合、7 月、8 月が最も API が下がり 80 前後であるが、これは PM₁₀ が 0.10~0.12 mg/m³ に相当する。今年の北京の 7 月の記録を見ると、環境基準の 0.15 mg/m³ を超えた日が 5 日間あった。はたして様々な対策を講じたオリンピック期間中はどうかあったのだろうか。

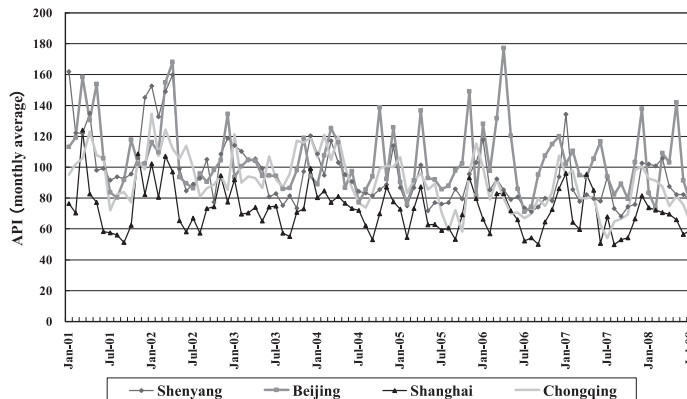


Fig. 1 Monthly API values of Chinese cities (2001-2008)

3. 大気汚染の健康影響

—中国東北地方で行った調査研究結果を中心に—

2001年から4年間、中国東北地方の遼寧省3都市で大気汚染影響の共同研究を実施した。国内の研究者と中国医科大学、各対象都市の疾病予防控制中心（CDC）スタッフの協力を得て実施したこの研究は、暖房のための石炭燃焼に、自動車や工場からの大気汚染が加わっている瀋陽、撫順、鉄嶺の3市をフィールドとして、①季節や粒径別に大気中微小粒子（PM₁₀、PM_{2.5}）濃度を明らかにし、②都市住民が実際に吸入している濃度（個人曝露濃度）を室内・屋外濃度と併せて測定し、環境濃度（屋外濃度）との関係を明らかにする、③児童の継続的な肺機能測定により、大気汚染による健康影響の程度を評価すること等を目的とした²⁾。

①については、対象3都市内に大気汚染高濃度、中濃度、低濃度の3地域を選定し、1年間に4期（20回程度）の粒径別サンプリングを行い大気汚染実態を把握した。瀋陽（都市部人口490万人の省都）では、非暖房期の7月はどの粒径別濃度も他の測定時期より低かったが、それでもPM_{2.5}の平均濃度がどの地域も0.05mg/m³に近く、我が国のSPMに相当するPM₇濃度も0.05～0.1mg/m³であった。道路交通量との関連は余り見られなかった。また、4月には黄砂の通過による高濃度が観察された。

瀋陽の東側に隣接する撫順（人口140万人の工業都市）では、非暖房期でもPM_{2.5}濃度が0.1mg/m³を超えることがあり、工場地域との距離が近いほど濃度が高い傾向が見られた。暖房期には地域間の差が無くなりPM_{2.5}濃度が0.1～0.15mg/m³、PM₇濃度は0.1～0.3mg/m³のレベルとなり、瀋陽市に比べ高濃度であった。また、撫順でも4月に黄砂が通過による高濃度を確認した。

一般的な地方都市として対象に選んだ鉄嶺（人口40万人の地方都市）では、非暖房期の7月、10月の濃度レベルは瀋陽とほぼ同じレベルで、PM_{2.5}濃度が0.05mg/m³程度、PM₇濃度が0.05～0.1mg/m³であった。暖房期の12月にはいずれの粒径も濃度が上昇し、このときは撫順市の暖房期とほぼ同程度のレベルであった。鉄嶺市は市内に大きな発生源がないため、非暖房期には郊外地域が若干低い傾向が見られた。

②の個人曝露濃度に関する調査では、一般の都市住民のボランティアを、各都市で3地域各10人（非喫煙者）対象として暖房期と非暖房期に各連続7日間、住宅内外のPM₁₀、PM_{2.5}濃度と個人曝露濃度を、携帯式サンプラーを用いて測定した。3都市における各測定場所の平均濃度をFig. 2に示す。濃い棒グラフがPM_{2.5}濃度を、薄い部分が2.5μm以上の粒子濃度（PM_{10-2.5}）、合計した高さがPM₁₀濃度を示している。測定日が異なるため、都市間や地域間の比較はできない。同じ地域内でも測定場所に

濃度のばらつきが大きかったが、暖房期には屋外のPM_{2.5}の平均濃度がどの地域でも約0.15～0.2mg/m³という高濃度になっていた。室内濃度の平均も0.1mg/m³を大きく超えて、個人曝露濃度も室内濃度とほぼ同じレベルになっていた。非暖房期の濃度は、屋外と室内の濃度差がほとんど無く、平均濃度は瀋陽市でも0.06mg/m³以上であった。撫順市では0.1mg/m³前後の高濃度であり、年間を通して工場地帯からの高濃度大気汚染が存在していることが明らかになった。

③の学童の呼吸器に対する影響は、3地域の児童約100名ずつに対して暖房期（11月初～3月末）をはさんで年間4回にわたり、スパイロメーターを用いて同一児童の1秒率（FEV_{1.0}）などを継続的に測定することにより、都市暖房に起因する大気汚染濃度の上昇に対応した閉塞性換気障害の有無を検討した。ほとんどの小学校で、男女ともに大気中粒子状物質濃度の増加に伴い肺機能値が低下する関連が認められ、これまでの研究報告と一致していた（Fig. 3）。粒径別（TSP、PM₇、PM_{2.5}）に検討したところ、FEV_{1.0}低下の影響は粒径が小さい粒子ほど大きい可能性が示唆された。観察された影響は比較的小さいが、これらの影響が短期的なものであるのか、長期に及ぶものであるのかは明らかではない。小児の成長に与える影響についてさらに長期的な観察が望まれる。

また、大気汚染の慢性影響について、3地域の小学校の児童約500名ずつを対象に、標準化された質問調査票により検討した結果、Fig. 4のように、持続性咳、持続性痰、喘鳴症状、喘息様症状の有症率はいずれも撫順、瀋陽、鉄嶺の順であった。3都市で測定した大気汚染レベルも、ほぼこの順であることから、大気汚染と呼吸器症状との関連性が疑われた。

この研究では、この他粒子中の有害成分として多環芳香族炭化水素（PAH）やニトロPAH（NPAH）、重金属の分析も行い、微小粒子中に有害成分の濃度が高いこと、PAHとNPAHは冬期に増加し、撫順の濃度が高かつ

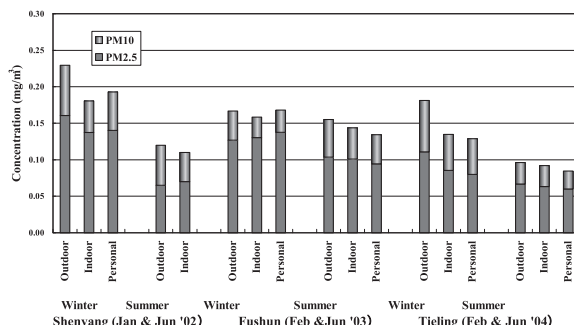


Fig.2 Daily average concentrations of indoor/outdoor and personal exposure for PM₁₀ and PM_{2.5} in three cities

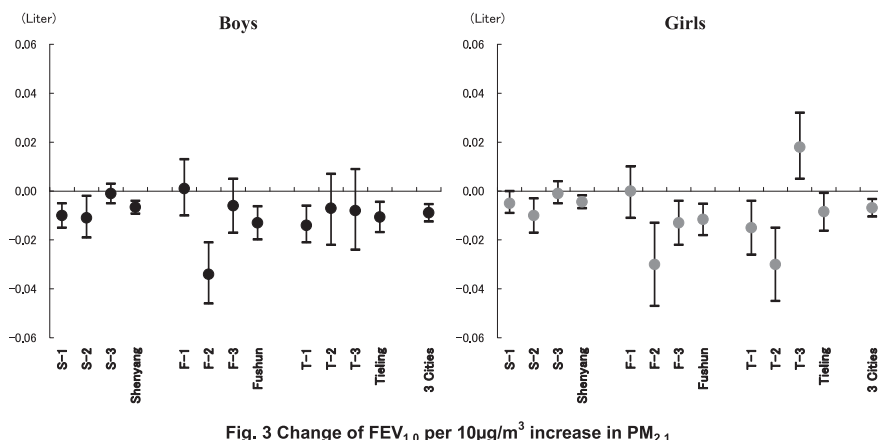


Fig. 3 Change of FEV_{1.0} per 10µg/m³ increase in PM_{2.1}

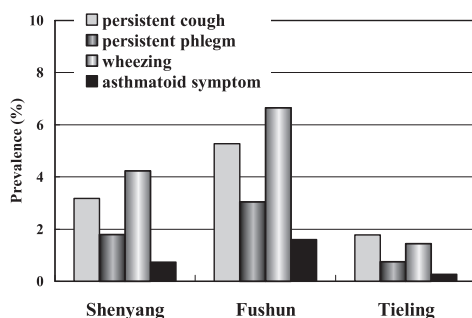


Fig.4 Prevalence of respiratory symptoms of school children by ATS-DLD questionnaire

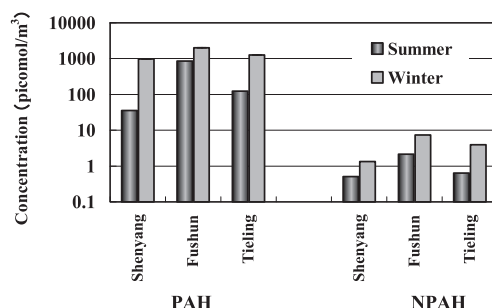


Fig. 5 Total concentration of PAHs and NPAHs in the atmospheric particulates in three cities

たこと (Fig. 5)、また、冬季には石炭燃焼由来の成分が多いことなどを確認した。

我々の研究では自動車による大気汚染の影響を捉えることができなかったが、中国でも自動車排ガスの曝露機会が多い交通警察官を対象とした疫学研究などによって、呼吸器疾患が多いことなどが明らかにされつつある³⁾。

中国では地方と都市との格差が急速に拡大しているが、私は1995年から3年間、中国山村でフッ素汚染の調査に参加したことがあった。石炭中のフッ素濃度が高い四川省や貴州省などの山村では、暖房や炊事に室内で石炭を燃焼することにより、粉塵やガス状のフッ素を吸引したり、屋根裏で乾燥させたトウモロコシや唐辛子に付着したフッ素を摂取することにより、歯牙フッ素症や骨フッ素症といったフッ素中毒を起こすというものであった。当時は、外国人には開放していない山村での調査であったが、石炭燃焼由来のフッ素症を確認することができた。Table 3に示した2003年の統計でも石炭燃焼由来の歯牙フッ素症患者が18百万人など、都市とは全く異なる室内空気汚染の深刻な健康問題が存在している。

4. おわりに—中国大陆からの越境大気汚染

中国における大量の大気汚染物質は偏西風に乗って日本列島に到達する。光化学オキシダント (Ox) は紫外線が強い夏に高濃度になることが多く、光化学スモッグ注意報や警報が出されることがある。月ごとの平均濃度でも、東京では4月頃から濃度が上昇し、夏季が最も高濃度になるが、福岡県では4月から6月が最も高濃度となり、夏は逆に低くなっている。近年全国的にOx濃度が年々上昇しているが、その一部は中国から移送された大

Table 3 Biogeochemical disease in China (2003)

Disease	Population in endemic area (×10 ³)	Number of patients (×10 ³)
Iodine Deficiency Disorders	1,234,161	727.5
Endemic Fluorosis		
Drinking water type	543,587	20,994 (Dental Fluorosis) 1,314 (Skeletal Fluorosis)
Coal combustion type	94,349	17,780 (Dental Fluorosis) 152 (Skeletal Fluorosis)
Endemic Arsenic Poisoning		
Drinking water type	2,343	7.8
Coal combustion type	334	2.4

(Statistics by Ministry of Health P.R China)

気汚染物質に由来すると考えられている。谷本ら⁴⁾は、日本国内の Ox 濃度は、すでに越境汚染により 5ppb～20ppb 上昇しているとも指摘している。平成 19 年 5 月 8 日から 9 日にかけて、九州から東日本の広い範囲で光化学スモッグ注意報が発令され、大原ら⁵⁾は、大陸からの汚染物質が原因であることを示した。中国側は正式には大陸からの移流が原因であると認めていないが、他に原因は考えられない。Ox 成分のほとんどを占める O₃は、前述したように API が規定されていながら、実際には考慮されていないか測定されていないため、その汚染実態を知ることはできない。

中国における化石燃料の消費はますます増加している。大気汚染対策が十分に効果を上げ得ない状況が継続すれ

ば、越境汚染問題はますます深刻なものとなろう。北京オリンピックに対応した一時的な対策にとどまらない、大気環境対策の強化を望みたい。

References

- 1) <http://www.zhb.gov.cn/quality/air.php3>
- 2) Report of Special Research Project of the National Institute for Environmental Studies (SR-64-2005)
<http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr64/sr64.pdf>
- 3) X. Guo, F. Deng: Bulletin of The Japan-China Medical Association, Vol. 20, No. 3, pp.17-19 (2007)
- 4) H. Tanimoto et al: Geophys. Res. Lett., 32, L21805 (2005)
- 5) <http://www.nies.go.jp/whatsnew/2007/20070521/20070521>

中国における水資源の分布と持続可能な開発について¹

張 昇 平²

Water Resources Distribution and Sustainable Development in China

Sheng Ping ZHANG

Faculty of Urban Science, Meijo University

Abstract

This study dealt with the characteristics of water resources and the sustainable management of water resources in China. First, the problems to be faced in water resources management has been made clear by analyzing the balance between water demand and water supply. Then, the problems in the Yellow River have been examined precisely by considering the socio-economical development and the geographical as well as hydrological conditions of the catchment. Based on the analysis results, evaluations of the sustainability of water resource development have been carried out. The evaluation results have shown that the Lower Yellow River is unable to meet its primary requirements for sustainability.

Key words: Water Resources Distribution, Yellow River, Sustainability, Water Resource Management

1. Introduction

As the most-populated developing country, China has caught the world-wide concerns, not only on its developing strategy, but also the impacts of its resources-securing policy on the whole would. For instance, many researchers have argued that the agriculture policy of the Chinese government and the way of improving the quality of life in China could cause a food shortage around the world¹⁾. Such discussions, however, have a common problem, e.g., the lack of a solid and reliable recognition of the present situation of fundamental resources such as water resources in China, which has led most of the discussion to some extreme conclusions through a very emotional phenomenon-analysis.

In this paper the discussion has been focused on the understanding of the distribution of water resources, the most fundamental resources for social and economical development, in China. After a overlook on the characteristics of the water resources distribution around china, The Yellow River has been taken as a model basin in order to examine the sustainability of the on-going water resources development in China as well as the regional water resources management policies.

2. Water Resources in China²⁾

2.1 Precipitation and Characteristics of Water Resources

Precipitation is the sources of nearly all water that occurs on and beneath the land surface. According to the estimation made by the Ministry of Water Resources of China in 2006, the total amount of the mean annual precipitation in China is about 6200 billion cubic meters, equivalent to an average of 648 mm.

The total amount of the mean annual runoff of all the streams in the country is about 2700 billion cubic meters, equivalent to a runoff depth of 248 mm. The amount of natural recharge of groundwater is on average 830 billion cubic meters annual. The total amount of water resources, i.e., the sum of river runoff and recharge of groundwater minus the amount of groundwater transformed into river runoff is approximately 2800 billion cubic meters.

The total amount of water resources in China ranks the 4th in the decreasing order in the world. However, due to the vast land and the large population, the water quantity per capita and per ha of cultivated land are only 2630 and 28050 cubic meters, respectively. Both of them are less than the average of the world, one is 25%, and another is 76% of the world average.

China is situated in the southeastern part of the Eurasian Continent. The climate in North China is very difficult in comparison with that in South China. The characteristics of

1. 平成 20 年 11 月 6 日 本会第 121 回例会において発表

2. 名城大学都市情報学部

平成 20 年 7 月 29 日受理

water resources can be summarized as follows.

a) Uneven regional distribution

The runoff depth of China descends steeply from South China to North China, and represents very uneven regional distributions. The mean annual runoff depths in the Yangtze River basin and the areas south of it are more than 500 mm. Especially in Zhejiang, Fujian and Taiwan provinces the runoff depths are more than 1000 mm. In the Huaihe river basin and the areas north of it the runoff depths are about 255 mm. In the four basins of the Huang He, Hai-Luan He, Liao He and Heilongjiang rivers the runoff depths are less than 100 mm. In the inland river basins the runoff depths are only 32 mm.

Moreover, the regional distributions of water resources disagree with the distributions of population and cultivated lands (Table 1). Of the water resources in the whole country, 81% are concentrated in the four basins of South China, and the area of cultivated land there is only 36.5% of that in the country, the population is 54.4%. As the result, the water quantity per capita is 4180 cubic meters, 160% of the whole country average, and the water quantity per ha of cultivated land is 61950 cubic meters, 230% of the whole country average. However, 12% of the total water resources of the south four basins are in the Huang He, Huai He, Hai-Luan He and Liao He river basins, but the total cultivated land accounts for 42% of that country.

Table 1 Variation in Water Resources, Population and Cultivated Land within China

REGION	Water Resources ($10^8 \times m^3$)	Water Volume Per Capita ($m^3/capita$)	Water Volume Per Unit Cultivated land (m^3/ha)	% of the total of the Country			
				Area	Water Resources	Population	Cultivated land
Inland Rivers	1303.9	6290	1470	35.3	4.6	2.1	5.8
North China							
Heilong Jiang	1351.8	2630	679	9.5	4.8	5.1	13.0
Liao He	576.7	1230	558	3.6	2.1	4.7	6.7
Hai-luan He	421.1	430	251	3.3	1.5	9.8	10.9
Huang He	743.6	912	382	8.3	2.6	8.2	12.7
Huai He	961.0	623	421	3.5	3.4	15.7	14.9
Total	4054.2	938	454	28.2	14.4	43.5	58.2
South China							
Yangtze River	9613.4	2760	2620	19.0	34.2	34.8	24.0
Zhu Jiang	4708.1	4300	4530	6.1	16.8	10.9	6.8
SE Rivers	2591.7	3590	4920	2.5	9.2	7.2	3.4
SW Rivers	5853.1	38400	21800	8.9	20.8	1.5	1.8
Total	22766.3	4180	4130	36.5	81.0	54.4	36.0
Total Regions	26820.5	2750	1860	64.7	95.4	97.9	94.2
Whole Country	28124.4	2730	1870	100.0	100.0	100.0	100.0

b) Uneven time distributions

Affected by monsoon, the precipitation in most part of China varies greatly in the year and from year to year. The variation in arid areas is generally greater in comparison with that in moist areas. The ratio of the maximum to the minimum of the annual precipitation is 2-4 for South China, 3-6 for North China. The ration of the maximum to the minimum of the annual runoff volume is 2-4 for South China, 3-8 for north China, and up to 10-20 for the Northwestern arid areas. The amounts of precipitation and runoff concentrated in the 4 months of flood season account for 60-80% of those of the whole year. The ratio of the maximum to the minimum of the monthly precipitation is more than 10 on average, and up to 100 at some observation stations in the Northwestern arid will be further promoted with the developments of industry

areas.

2.2 Water Resources Development and Utilization

In 2006 the total amount of supplied water by water projects was 580 billion cubic meters, which accounted for about 23% of the total volume of water resources. Of the supplied water, 81.2%, i.e., 471 billion cubic meters from was withdrawn from rivers, 18.4%, i.e., 108 billion cubic meters from groundwater. Of the supplies water, 63.2% was for agricultural uses, 23.2% for industrial uses and 12.0% for urban uses. The per capita water uses in the country was 442 cubic meters annually. At present the standard of water use in China is still low in comparison with developed countries. It can be predicated that the standard of water uses in China and urban areas and the alteration of water use patterns.

The water quality is even more severe in China than water quantity problem. According to the survey carried out by the Ministry of Water resources of China in 2006, of the monitored 140 thousand kilometer long river segments, only 58.3% are suitable for source of urban water supply, the other 42.7% can not be used for urban water supply with the current water purification technology. In North China the rivers have been polluted even worse so that about 60% of the river segments can not be used for urban water supply, which has caused a serious water shortage in clean water source.

3. Sustainability of the Yellow River Development

The discussion in the former section has shown a clear conclusion that China, especially the North China is facing a severe water shortage problem caused mainly by the uneven distribution of water resources and water pollution. In this section, the most important river in North China, the Huang He River (Yellow River) will be focused on in order to examine the water resources problems in China in a more precise manner.

Yellow River, the most- densely- populated river catchment of the world, has been suffering from a serious water shortage since the middle 1980s³⁾. In this study, we focus on the sustainable management of water resources in the Lower Yellow River. By interpreting hydrological data, we try to examine if the Lower Yellow River is able to meet its primary requirements for sustainability, also the possible measures to ensure the sustainability of the Lower Yellow River development.

3.1 Outlines of the Lower Yellow River⁴⁾

The Yellow River is over 5000 km long, and flows from the Qinghai-Tibetan Plateau to Bohai Bay. The river segment from Taohuayu to Bohai Bay, which is about 768 km long, is called the Lower Yellow River (Fig. 1). Its catchment area, more than 22 thousand square km, occupies the arid and semi-arid North China Plain, which is composed of land recovered from an earlier epicontinental basin that became filled with sediment. Until dykes and levees were constructed, the river was free to find its way to the sea, and often migrated, leading to an enormous alluvial area along China's eastern seaboard.

The annual runoff in the Yellow River has a mean volume of about 58 billion m³, and varies from 14 to 86 billion m³. The river transports a mean annual load of about 1.6 billion tons of fine yellow sediment that originates mainly from the Loess Plateau in Shanxi and Shaanxi Provinces. The



Fig.1 The Lower Yellow River downstream of Sanmenxia to the Bohai Sea

Loess Plateau has a total area of 640,000 km², of which more than 70% is eroding. Geological uplift driven by neo-tectonic movement is promoting extensive gravitational erosion, partly by rockfalls and landslides.

Further man-made erosion is occurring as an indirect consequence of regional development. As a result, the tributaries feeding the Middle Yellow River contain hyper-concentrated levels of suspended sediment. Downstream of Sanmenxia, the sediment-laden Lower Yellow River meanders eastwards, pasts the major cities of Zhengzhou and Kaifeng, through Shandong Province, until reaching the Bohai Sea.

3.2 Flood Control in the Lower Yellow River⁴⁾

Due to the river slowing and depositing sediment, the bed of the Lower Yellow River has risen to a level that is about 5 m on average higher than that of the land outside its dykes. This phenomenon is often referred to as the "hanging river". At Kaifeng and Xinxiang, the riverbed is respectively 13 and 20 m higher than street level. Worse still, as the breadth of the Lower Yellow river converges from 24 km to 0.3 km so does its local flow capacity, which falls from 22,000 m³/s to 11,000 m³/s in its lower reaches.

Over the centuries, the Lower Yellow River has gained an awesome reputation for disastrous floods and for changing course. Extensive flood control works have been constructed, protecting an area of about 120,000 km². Even so, more than 50 major floods, 1500 dyke breaks, and 20 changes of course have been recorded in a period of about 2500 years. In one flood in 1642, more than three hundred thousand people died at Kaifeng. Analysis of the historical data has shown that the river breaches can be classified as follows.

- Dyke overtopping (scour caused by the river main channel being directed against the dyke walls)
- Dyke collapse due to piping, seepage and leakage
- Ice-jam breaches affected by freezing and thawing of

the river water

- Man-made breaches (such as in 1938 when the dyke at Huayuankou was destroyed and 890,000 people perished, in an attempt to prevent Japanese occupation.)

After the founding of the People's Republic of China in 1949, all the dykes of the Lower Yellow River have been strengthened and had their crest elevations raised a total of four times. Even so, although the dykes are reasonably safe against overtopping and ice-jam breaching, they require further renovation to prevent scour or collapse-induced breaches.

3.3 Water Resource Management⁵⁾

Over the past few decades, the Lower Yellow River has begun to lose its vitality. Runoff into the river has decreased due to water storage and sedimentation of upstream reservoirs, changes in land-use, and warming of the central Asian climate³⁾. There may also be a contributory effect from a combination of uplift of the Qinghai-Tibetan Plateau and a lowering of the water table. Meanwhile agricultural, domestic and industrial water consumption has more than doubled, in step with socio-economic development. The river flow has reduced so much that no-flow and nearly no-flow events occurrence frequently³⁾. To date, the worst year for no-flow events was 1997, during which no water flowed into the sea for 226 days. That year, the maximum no-flow river length was 700 km, almost equal to the entire length of the Lower Yellow River. Low flows cause water shortages, and increase sedimentation, thus raising the riverbed level and bringing about an increased risk of flooding. The rapidly changing behavior of the river makes it impossible to use past hydrological data to predict flood discharges sensibly. For example, a flood event that ten years ago had a one-in-a-hundred-year return period may now have a one-in-two-year likelihood of occurrence. High levels of effluent discharge into the Lower Yellow River combined with its reduced flow discharge have caused the water quality to deteriorate, and the eco-system to degrade. Desertification is taking place near the river mouth, where the exposed bed has become arid and wind-driven erosion is starting to occur. The coastal zone has also been severely affected, to the extent that previously offshore oilfields are now located inland.

3.4 Evaluation of the Present Water Resource Management System⁶⁾

Water resource management and flood control of the

Yellow River are the responsibility of the Yellow River Conservancy Commission, which in turn reports to the Ministry of Water Resources and thence to the Central Government of China. After 1949 a flood control system was established with dams storing water in the upstream reaches and more than 1000 km of dykes reinforced along the lower reaches. Soil and water conservation measures were implemented, including the construction of 112,000 warping dams (to trap sediment) and more than four million water retaining structures. This brought about a decrease of about 300 million tons per annum of sediment entering the river. Recently, the Ministry of Water Resources altered the management framework from one of water conservancy to one of sustainability. Wang Shucheng, Minister of Water Resources stated the following four objectives for the Lower Yellow River⁷⁾.

- (1) the dykes should not be breached;
- (2) the river should not experience zero flows;
- (3) water quality should meet the required standard; and
- (4) the riverbed should not rise further.

This means that the aim of the water resource management has been shifted from providing a livable environment for the people living in the catchment area to keeping and improving the living environment. As a result, the Yellow River Conservancy Commission is presently developing a long-term strategy for the sustainable management of the Yellow River, supported by scientific, engineering, socio-economic, legal, and political inputs⁷⁾. A unified approach is being taken to water resource management, allowing for the fact that the river passes through several provinces. Countermeasures such as variable water pricing, restrictions on water consumption, engineering works such as the flood control and sediment flushing system at Xiaolangdi reservoir, dyke strengthening, additional sediment check dams, river training works, and flood warning systems are being implemented in the context of a sustainable water management system for the Lower Yellow River. But are these sufficient? In China, a huge effort has been directed towards understanding and mitigating the problems of the Yellow River. People have begun to debate whether the no-flow phenomenon is a sign that the river is unsustainable, or even dying. The Yellow River Conservancy Commission estimates that by 2010, the total water consumption may reach 52 billion m³ per annum, leading to a shortfall of more than 10 billion m³, given 42 billion m³ available for supply in a moderately dry year. With this in mind, the Yellow River Conservancy Commission has developed a three-pronged

approach to managing the Yellow River, where the prongs are the river itself, a digital model, and physical model studies of the Loess Plateau, Xiaolangdi and Sanmenxia reservoirs, main channel and estuary³⁾.

3.5 Sustainability of the Lower Yellow River^{6), 7)}

To assess the overall sustainability of the Lower Yellow River, we propose the following diagnostic tools: the concepts of minimum water demand for river sustainability (i.e. the minimum flow rate needed for the river ecosystem to flourish), functional no-flow events (flows that are too weak to sustain the ecosystem), river resource functions (that classify the flow into functional headings such as water available to the ecosystem, water required for socio-economic purposes, and excess flood water), and an integrated river health index. These tools have been applied to the Lower Yellow River using flow discharge data from four hydrological stations. In particular, the integrated river health index attempts to take account of the major factors that affect the condition of the river, including the annual functional no-flow river length (a parameter that reflects the relative severity of no-flow events), annual sediment carrying capacity, water available for the ecosystem, and water demand for socio-economic purposes. Interpreting the data, we found that, on average, ever since 1990 the minimum water demand for river sustainability has not been satisfied along at least half of the Lower Yellow River.

Figure 2 gives a plot of the number of functional no-flow days per annum recorded in four reaches of the Lower Yellow River in the years from 1964 to 2001. There is a noticeable upward trend in the number after 1985, particularly for the Aishan-Lijin reach closest to the mouth of the Yellow River. It appears there is a possibility that the Yellow river could become permanently disconnected from the sea. By converting river discharges into river resource functions, we find that the river was no longer capable of supporting further regional development after the 1980s and as a consequence the condition of its ecosystem had weakened significantly. By 1990, the water demand essential for the river ecosystem could not be satisfied even if the water resources were distributed evenly during the whole year and there was no water loss due to floods. However, extreme flood events have continued unabated, even though runoff has sharply decreased, indicating that the normal river functions have been severely impaired.

Figure 3 shows the behavior of the river health index in



Fig. 2 Annual functional no-flow days: 1964-2001

the period from 1964 to 2001, which has been composed as the following.

$$IRH_{index} = \beta \cdot F_{flow} \cdot F_{sed} \cdot F_{qua} \cdot F_{flood} \quad (1)$$

where IRH_{index} is the integrated river health index, β , the parameter for the severity of no-flow events, is defined as 1 minus the ratio of the annual functional no-flow river length to the total Lower Yellow River length, F_{flow} is the ratio of the amount of the available water resource to the annual total water demand, F_{sed} is the ratio of annual sediment discharge to the annual sediment inflow, F_{qua} is the ratio of the length of the river segment where water quality meets the water quality level specified by the governmental agency to the total length of the Lower Yellow River. F_{flood} is the ratio of the facility-based flood-control capability to the volume of the excess flood water (which has been carried out only for the annual biggest flood event).

For the river to be sustainable, the index must have a value of at least unity. It is obvious that the condition of the Lower Yellow River has declined drastically since the 1960s. After 1970, the river health index is generally below 0.5, and only sporadically reaches the 1950s standard. After 1990, the river system is in a dreadful condition. The lowest point occurs in 1997, when runoff was the lowest recorded, no-flow events were most prevalent, water shortage caused large economic losses, and the ecosystem suffered great damage. In 2001, the upstream dam at Xiaolangdi became operational, and considerably improved the water and sediment conditions in the Lower Yellow River. However, although no zero-discharge events have occurred after 1999, the evidence from Fig. 3 is that the river health index has remained at a very low level since then. It appears that the Lower Yellow River's ability to meet its eco-system and socio-economic requirements is exhausted.

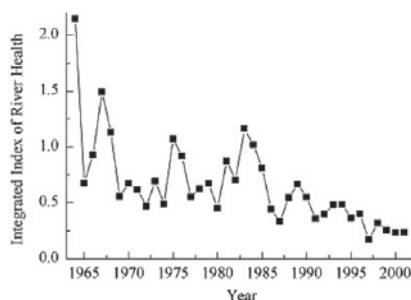


Fig. 3 Integrated River Health Index for the Lower Yellow River since 1964

4. Possible Future Measures for Sustainable Development⁶⁾

Based on the above analyses, it is reasonable to have the conclusion that the Lower Yellow River is not sustainable at the level it had in the 1950s, and has declined to the point that it is unable to meet any of its primary functional requirements even after the implementation of recent countermeasures.

In the future, it may be possible to store water in Dongpinghu Lake (to the south of the Lower Yellow River) for release in times of drought. Additional water could be supplied from the western route of the South-to-North Water Transfer Project. Groundwater may also be abstracted in dry years, provided it is replenished in wet years. By changing agricultural practice, the demand for irrigation water could be reduced. Selective discharges from proposed upstream reservoirs at Qikou, Gu'xun, and either Dalishu or Xiaoguanyin could control the ratio of water to sediment in the river and so help prevent sedimentation. By means of flow diversion, it may also be possible to scour the riverbed near the estuary. Further levees and warping dams may be constructed to counteract the sediment supply from the Loess Plateau. To this end China's Ministry of Water Resources has proposed the construction of 60,000 warping dams by 2010, a monumental task⁴⁾. Finally, to improve water quality, limits must be placed on the total effluent discharge into the river from each province, backed up by proper monitoring and effective legal measures. Further research is necessary to ascertain whether these are likely to ensure the Lower Yellow River development sustainable.

5. Summary

This paper dealt with the characteristics of water resources distribution of China and the sustainable

management of water resources in a typical and very important river, the Yellow River. First, we overlooked the distribution of water resources in China, and showed that the problems in water resources management are more severe in North China than in South China in the meaning of either the balance between water demand and water supply or the water resources pollution. In order to examine the problems in a more precise way, we chose the Yellow River as a model case, and analyzed the problems in water resources management and flood control with an effort of understanding of the socio-economical development level and the geographical as well as hydrological conditions of the catchment. It has been made clear that even no one of the main problems in river management, flood control, sedimentation prevention, water resource development as well as water quality management, has been settled in an acceptable form in the Lower Yellow River. Based on the analysis result, evaluations of both the water resource management system and the sustainability of the water resource development have been carried out. The evaluation has been focused on the impacts and the severity of the no-flow events and an integrated river health index has been proposed to show how much the river is able to meet its primary requirements for sustainability by considering all of the river management purposes such as flood control, flow control, water resource development as well as water quality management. Unfortunately, the evaluation results have shown that the Lower Yellow River is unable to meet its primary requirements for sustainability. Some possible future measures have been proposed to ensure the water resource development sustainable, and the effects of these possible measures are still remained to be examined.

References

- 1) Worldwatch Institute: State of the World 2006: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society (2006)
- 2) Ministry of Water Resources of China: China Water Resources bulletin 2006, The Press of Water Utilization and Electricity of China (2007)
- 3) Yellow River Conservancy Commission: Annual Research Report on the Prevention of Occurrence of No-Flow Events in the Lower Yellow River (2004)
- 4) HU Mingsi and LUO Chengzheng: The Historical Flood Disasters in China, The Publication of China (1999)
- 5) ZHU Guangming: A Study on the Strategy of the Water Resource Development in China, The Press of Water Utilization and Electricity of China (2002)

- 6) Liu lele and S.P. Zhang: An Evaluation of the Sustainability of the Lower yellow River Development, Urban Science Studies, No.12, pp.103-107 (2007)
- 7) Yellow River Conservancy Commission, Sustainable Development of the Yellow River, 2003.