

第 110 回 技術懇談会の記録

1. 日時・場所

平成 29 年 11 月 30 日（木）15：00～17：00、化学工学会会議室、参加者人数 31 名

2. 講演テーマおよび講演記録

(1) 「中国の環境汚染と汚染防止技術－中国環境科学技術情報サービス活動の 6 年－」

講師：齋藤興司氏 SCE・Net 環境研究会

講演要旨

環境研究会の「中国環境科学技術情報サービス」活動は 2012 年にスタートし、今年で 6 年目に入った。この間に発行したレポートはのべ 17 報で、紹介した論文数は 111 報に達した。レポートは毎号テーマを決めてまとめられているが、全 17 報のうち 11 報が廃水処理に関するもので、大気汚染関係が 4 報、清潔生産と土壌汚染関係が各 1 報である。レポートは現在 SCE・Net の法人会員様を含めて約 40 社（人）に送付されている。

汚染防止技術に入る前に最新のデータを用いて現在の中国の環境汚染の概況をまとめた。

大気汚染物質の排出量は SO₂、NO₂ に関しては低下傾向にある。しかしその排出量の水準は極めて高く、2013 年 1～3 月に首都北京をはじめとする北部の都市で顕在化した深刻な大気汚染（PM_{2.5}）の原因の一つとされている。PM_{2.5} 汚染の微粒子の組成を見ると、二次硫酸塩、二次硝酸塩、有機化合物、石炭由来物質等が主な成分であることがわかっており、SO_x、NO_x、VOC 等が複合的に関与していると思われるが詳細にはわかっていない。冬季の大気汚染の状況はそう大きくは変わっていないと思われるが近年は深刻な大気汚染に見舞われる日数は少なくなっているようで、気象条件の影響も大きいとされている。

水質汚染物質の代表である COD とアンモニア性窒素の排出量はそれぞれ低下傾向にある。中国の地表水の水質はきれいな順にⅠ類からⅤ類に類別され、このほかに全く利用できない劣Ⅴ類という類別がある。中国の水汚染の状況は、主要河川十大水系を対象にした“きれいな水“である第Ⅰ～Ⅲ類の合計割合と劣Ⅴ類の割合で説明されることが多い。2014 年の劣Ⅴ類の比率は 9.0%であるが第十三次五か年計画（2016～2020）での目標は 5%以下とされている。中国政府の懸念は地下水の汚染である。2014 年に地下水の 60%が飲用に適さないと報道された。国民の 7 割が地下水を飲用していると言われる中国では大きな問題である。2014 年の”そのままでは飲用に適さない“地下水の比率は 61.5%で 2012 年の 57.3%よりも悪化している。

土壌汚染は長い間調査もなされず実態がわからなかったが、2005 年から 2013 年にかけて初めての全国土壌汚染状況調査が行われ 2014 年に「全国土壌汚染状況調査公報」として公表された。中国の国家標準に照らして全体の 16.1%、耕地については 19.4%が基準値を超えているという。中国ではかつて国が化学工場等の排水を灌漑に用いる「汚水灌漑」を推奨していた時期もあり、また、長い間有害な産業廃棄物を未処理で野外に放置していたこともあって土壌汚染は深刻な問題になっている。汚染物質としてはカドミウム、鉛、ヒ

素などの重金属が多く、カドミウム汚染米などの経済損失も大きい。

「中国環境科学技術情報サービス」活動の主体は中国の環境汚染防止技術の論文を通して技術開発の現状とその応用例を紹介することである。大気関係の汚染防止技術については日米欧の先進国で確立された石灰－石膏湿式脱硫法とアンモニア還元脱硝法が中国のほとんどの火力発電所でも採用されており、中国オリジナルの脱硫プロセス脱硝プロセスに関する論文は少ない。それに対して廃水処理関係は極めて研究開発が活発で発表論文数も多い。中国の廃水処理プロセスは基本的には生物処理（好気性活性汚泥法、嫌気性発酵法、およびそれらの組合せ）で、化学工場や製薬工場等のほとんどは廃水処理の最終工程に活性汚泥法を配置している。しかし近年の工場では汚染物質が難分解性であったり生物に対して生育阻害性を示すなどそのままでは通常の生物処理ができない廃水も多く、研究のほとんどは生物処理工程に送る手前の前処理プロセスの開発に関するものである。土壤汚染については汚染された土壤の修復技術に関する論文が増えてきている。しかしそのベースになっている技術は先進国で開発された既存技術がほとんどで、中国の国情に合った技術が開発されるにはまだ時間がかかるであろう。以下、最も研究の活発な廃水処理を中心に具体的な処理技術例を紹介する。

中国の汚染防止技術の特長の一つは身近な材料を工夫したプロセスと伝統的な微生物を利用したプロセスが広く研究されていることである。中国では鉄屑、鉄鉱石（磁鉄鉱、黄鉄鉱を含む）、石灰石、活性炭、等は入手容易な物質で、触媒や反応原料として広く使われている。農薬や有機塩素化物で汚染された工場跡地の修復に活性炭、鉄粉、生石灰を利用したプロセス、バイオレメディエーション法や特定物質に耐性を有する菌体を選別して微生物汚泥に接種して難分解物質や薬剤の分解性能を強化するバイオオーグメンテーション法等の論文は数多い。

生物難分解性廃水の前処理で最も多く用いられるのは高度酸化（促進酸化）技術である。代表的なプロセスは過酸化水素を酸化剤とする Fenton 酸化法、オゾンを経酸化剤とする光－オゾン酸化法、超音波－オゾン酸化法、固体触媒－オゾン酸化法等である。Fenton 酸化プロセスは中国で 1990 年頃から工業的に応用されているプロセスであるが、Fe⁺⁺イオンを触媒とする簡便で安全なプロセスで現在も広く用いられており、研究論文も非常に多い。最近ではオゾン発生器により酸素ボンベがあれば簡単にオゾンを得ることができるのでオゾン酸化プロセスも広く工業化されている。研究も Fenton 酸化法とならんで活発で、固体触媒を用いたプロセスが今後有望とされている。

筆者が注目しているのは鉄を利用した廃水処理プロセスである。日米欧ではそれほど注目されず研究例もさほど多くないプロセスであるが、中国では異様なほど活発に研究が進められてきた。技術内容は還元反応法、微電解法、Fenton 酸化法、ゼロ価鉄法（含ナノスケールゼロ価鉄法）等から成っている。このうち微電解法（Micro - electrolysis 法）は伝

統的には屑鉄粉と粒状活性炭を廃水中で空気をバブリングしながら懸濁浮遊させるもので、微小な電池を形成させることでその電気化学的な作用を利用する。特長は、安価な材料で設備も簡単、ある程度の COD 除去率が得られ、何よりも多くの廃水の生物分解性が良化することにある。この方法は今なお技術改良が活発で、鉄に銅やマンガンなどの金属を加えた三元系微電解や炭素繊維と鉄を一体化した微小構成物を用いるなどの論文が発表されている。原理を維持したまま高性能化、精密化の方向に向かっているようであるが、微電解本来の安価な材料と設備のシンプルさ、運転の容易さとどのように両立させうるかが実用化の普及を左右するものと思われる。中国の廃水処理プロセスに求められるのは“とにかく安い”ことである。廃水処理の性能は排出基準を満たせばよく、第一優先は”おカネ“である。鉄を利用した廃水処理プロセスの多くはこの条件を満たす。

最後に中国政府の污染防治施策を概観し、今後の中国の環境汚染の行方を見てみる。中国の諸施策の大本は国家五ヵ年計画で、環境保全に関しても同様である。環境保護に本腰を入れはじめたのは第 11 次五ヵ年計画（2006～2010）からで、SO₂、NO_x、COD 等の汚染対象物質の排出総量の削減目標を定め、拘束性数値目標として幹部役人の成績査定とリンクさせた。現在は第 13 次五ヵ年計画（2016～2020）の期中であるが、はじめて一次エネルギー総量に上限（50 億標準炭）を定め、石炭の比率を 58%とした。中国の大気汚染の元凶はエネルギーに占める石炭の比率が 64%（2015）と高いこととされてきたので、これは画期的な目標値と言える。

一方、2013 年冬季の大規模な大気汚染（PM_{2.5} 汚染）を契機に中国当局は新たな環境保護施策に踏み切った。それが「大気汚染防止行動計画」通称“大気十条”（2013.9.10 公布）である。この特長は 35 項目の具体的な指針にあり、小規模石炭ボイラーの廃止、ガソリン品質の先進国レベルへの改善、老朽車両の廃棄の加速、等の思い切った対策を打ち出したことにある。この行動計画にならって国務院は「水汚染防止行動計画」（水十条、2015.4.2 公布）、「土壌汚染防止行動計画」（土十条、2016.5.28 公布）を定め、環境問題の解決に向かって新たな一歩を踏み出した。当局の強力な指導で地方政府も関連法規を定めて執行しつつあると言われており、汚染対策はかなり進むものと思われる。また、大気汚染対策の切り札は EV（電気自動車）である。世界の EV シフトを中国の自動車産業の世界制覇のチャンスととらえてリードする意味合いが大きい。結果として画期的な大気汚染対策になることは確かであろう。

中国政府にとって科学技術は国家の最重要政策である。2014 年の大学の数は 4442 校で日本（1133 校）の 4 倍であり、院生を含む大学生の数は 2732 万人で日本（324 万人）の 9 倍近くまで増加している。そのうち研究開発人材は 2013 年で 148 万人（Dr.の数）であり、日本（大学生および院生、84 万人）の 2 倍近い。このうち中国国内の環境保護科学技術開発に携わる研究者の数は不明であるが、2006 年に国務院が発表した「国家中長期科学技術

発展計画綱要」には汚染対策や廃棄物リサイクルが重点領域として掲げられており、その達成に見合う人材と資金を投入するものと思われる。環境保護関係の論文は今後も増え続けるであろうし、近い将来には環境保全問題の多くは先進国並みに改善されるものと思われる。

以上

(2) 温室効果ガス排出ゼロのための技術開発と施策のための羅針盤の解説:IPCC AR5 WG3(緩和策)

講師：甲斐沼美紀子氏 (公財)地球環境戦略研究機関 研究顧問

講演記録

甲斐沼氏は1977年に国立環境研究所に入所され、長年地球環境の研究に従事され、IPCC第4次、第5次の代表執筆者である。気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)は人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的見地から包括的な評価を行う目的で1988年UNEP(国連環境計画)とWMO(世界気象機関)により設立された。現在の参加国は195か国で事務局はスイスのジュネーブにある。第5次報告書は発表された9,200以上の科学論文を参照し、800名を超える執筆者により4年の歳月をかけて作成された。統合報告書の内容は(1)現状以上の追加的緩和が無ければ、適応したとしても21世紀の温暖化は深刻で広範、かつ不可逆的な世界規模の影響が生じるリスクが、現状のレベルよりも「高い」もしくは「非常に高い」レベルになる。(2)工業化以前の水準から温暖化を2°C未満に抑制するための緩和経路は複数ある。(3)2°C未満に抑制するための大幅な排出削減は相当な課題があるがこれらの課題は追加的緩和の遅延や制限によって増大する。(4)適応と緩和は気候変動のリスクを低減し、管理するための相補的な戦略である。(5)社会経済システムにおける現状を維持する傾向は適用と緩和の制約となる。

気候温暖化は産業前に比して産業後0.85°C上昇しており、直近30年の各10年間の世界平均気温上昇は1850年以降のどの10年間よりも高温。過去20年間の北極、南極の氷河は縮小続けており、海氷面積、積雪面積は減少続けている。1986~2005年を基準とした2081~2100年における世界平均気温変化はRCP2.6シナリオ(第5次評価報告書に記載されている気温上昇が一番低くなるシナリオ)では0.3~1.7°Cの範囲に入る可能性が高い。人為的累積CO₂排出量と産業後の気温上昇とはほぼ1対1の関係にあり、2°C以下に留めるには気候変動による更なるリスクレベルを低減し、それは2100年において430-480ppmCO₂換算、もしくは480-530ppmCO₂換算となるGHG排出経路であって、2050年には全世界GHG排出量を2010年比で40~70%削減もしくは25~60%削減する必要がある。追加的な緩和策のないベースシナリオでは2100年における世界平均気温上昇は産業革命前に比して3.7°C~4.8°C上昇する。2100年に約450ppmを通る緩和シナリオ(2°C未満に抑える)は今世紀後半でのCO₂回収貯留付きバ

イオエネルギー(BECCS)の広範囲な普及展開や、植林による緩和を拠り所としている。緩和に係る経済コストは緩和対策を行わないシナリオ(今世紀末に 300~900%消費が拡大する。)と比較する 2030 年で 1~4%、2050 年で 3~6%、2100 年で 3~11%の損失が生じる。このコストの推定値はシナリオの想定に大きく依拠する。

AR5WGIII全体の概要は(1)温室効果ガスは急速に増加(40 年間でそれ以前に比して 2 倍)(2)今後温室効果ガスの排出経路は 2°C未満に抑える高いシナリオ(430~530ppm)を達成するには GHG 排出量を 2050 年に 4~7 割削減、2100 年にゼロ~マイナスにする必要がある。2030 年までに緩和が遅れた場合それ以降に急速な排出削減が必要。大幅な排出削減を行うにはバイオマス燃焼時に排出される CO₂ を回収、貯留するバイオマス CCS の技術が必要。(但しバイオマス CCS は食料確保などの技術的課題がある。)(3)緩和の対策コストは増える。2100 年の濃度が低位(430~480ppm)となるシナリオでは 2100 年に 2~12%損失する。(4)低炭素エネルギー(再生可能エネルギー、原子力、CCS 付き火力)は 2°C未満に抑えるシナリオでは 2050 年に 1 次エネルギーに占める割合を 3~4 倍近くに、電力に占める割合を 8~9 割まで増加、2100 年までに CCS なし火力発電はほぼ完全に廃止。原子力は成熟した技術。コスト、安全性、廃棄物管理が課題。

気候安定化のためには人為的温室効果ガス排出量をゼロにする必要がある。ゼロにしても海水は数千年にわたって膨張する。2°C以下未満に抑えることを目標とするパリ協定には国連をベースにした 196 か国が成立した。加盟国の多くは約束草案(INDC)を UNFCCC(国連気候変動枠組条約)事務局に 2015 年に開催された COP21 の前に提出し、パリ協定に発行を受けて INDC は Intended がとれた自国で決定する貢献(NDC)に自動的になった。現状の NDC がすべて実行されてもパリ協定の目標を達成できないので、今後 5 年おきにより高い目標に更新するために話し合いが設けられることになった。IPCC 第 6 次報告書緩和は 2021 年に出版予定であるが産業部門では第 11 章に・産業発展パターンとサプライチェーン・材料と資源効率の最大化・部門間の需要と供給の面からの工業製品の需要開拓・プロセス排出量、工業廃棄物と炭素回収利用・シナリオ、緩和オプション、システム間の合意・将来の施策のための意欲的な気候目標と持続可能な開発の合意などが記載予定である。

(文責 松井達郎)