

我国と中国の石炭火力について

2020.4.23

NEPIE

片岡 穆

相澤善吾

1. NEPIE について

- ・一般社団法人電力情報技術ネットワーク（NEPIE：Network of Electric Power Information and Expertise）が我々の集まりの名称です。電力会社あるいは関連する企業にかつては勤めていた主に退職者の集まりです。会員数は50人程度の小さなもので、エネルギーや電力に関連するテーマについて、現役中に答えを見いだせなかった事柄や、今後気になる課題について、情報交換や議論をおこなっております。
- ・情報交換や議論をして、気になることを少しずつ晴らしてゆき、また我々の知見や技術を微力ながら活かせる機会があれば、少しでもお役に立てることを目指して、どちらかと言えば地味に活動しております。
- ・メンバーには、電力会社や重電メーカー・商社などの各々の分野の専門家がいて、満遍なく総合力を発揮するとまでは決してまいませんが、利益を追求する企業人としてではなく、一社会人として、それぞれの経験から中立的と考えられる立場を維持するよう留意しながら、活動しております。
- ・強力なバックデータを後ろ盾にしてというよりは、これまでの経験と身の丈に合った情報収集、そして議論の結果から、いろいろな評価の中から最も妥当であると考えられる答えを手繰り寄せる、というのが我々の方法であります。
- ・この度は私共の我が国の石炭火力についての評価を皆様にご報告できる機会をいただきましたことを感謝申し上げます。

2. 石炭火力は地球環境問題とエネルギー問題の分かれ道の一つ

- ・石炭火力についての議論は、大きく分けて2種類があると思われます。一つは気候変動問題に対する我が国の姿勢あるいはエネルギー基本計画をはじめとしたエネルギーミックスの在り方からの論点、もう一つは石炭火力発電とその技術の国内外での状況と今後の取り扱いに関する論点。
- ・一点目については、我々NEPIEの論点としても、日本（政府も社会も）の気候変動に対する切迫感の軽さ、再エネに対する本気度や熱心さ（送電システムの運用についても含む）の不足、（プルサーマルでは埒が明かない）原子力の在り方を（否定ではなく）本気で考えるべき、（最新技術を導入してもガス焚火力の2倍のCO₂を排出する）石炭火力の在り方、それら全てに絡む社会受容性の重さ、など議論の種は尽きず、また議論の余地が未だ減っていないように考えられま

す。

- ・二点目については、10年前の状況とは大きく様変わりしていると言えます。石炭火力自体の位置づけが低炭素化の観点より大きく変わってきたこと、そして日本製の石炭火力の位置づけもだいぶ変わりました。特に、中国の技術は急成長し、性能品質を誇ってきた日本製の石炭火力の位置づけは変わりつつあります。本日はこの二点目を中心に、我々の議論の結果をご報告したいと思います。

3. 日本と中国の石炭火力技術

- ・かつては、両国の技術力にはかなりの開きがありましたが、現在の様相は大きく変わっております。即ち、中国の重電メーカーの御三家（上海電気集団、東方電気集団、ハルビン電気集団）の技術力は日本の重電三社に勝るとも劣らない域にまで達していると考えられます。ただし、第二の軍団として武漢ボイラや北京ボイラとなると性能や品質の差が出てまいります。さらに、それより弱小の機器メーカーも数多くあり、これらはまだその性能品質は不十分点があります。
- ・なお、最近では御三家が設計し、その図面に基づいて製作据付を第二軍団、第三軍団が行っており、この場合は御三家のクレジットであっても、品質や耐久性に問題がある場合もあります。
- ・御三家の工場を視察見学した NEPIE メンバーも何人かおります。これらは設備的にも充実していて、日本の重電三社の指導よろしく、整然清潔で、5S 等の品質向上運動も活発に行われていて、日本の重電メーカーの様相と同様であり、社員たちの士気も高いという評価がほとんどであります。
- ・石炭火力の、特に USC（超々臨界圧）石炭火力となると、高温耐熱部材がその性能や信頼性・耐久性のカギとなりますが、当初は日本の素材メーカー（日鉄/住金）など外国からの調達で賄っていた中国重電各社は、今では中国鋼材メーカーによる国内自給となっています。USC 火力に必要な 9Cr（クロム）鋼や 12Cr 鋼や、さらに高級な高温材である 25Cr-20Ni 鋼（ステンレス鋼）も自給しており、高温部材に関する技術力も日本と同等となっていると考えられ、さらに価格的にも日本製品に対して十分な競争力を持っていると言えます。
- ・また、2000 年以降の 100 万 kW 級石炭火力の納入実績は USC 石炭火力でも石炭火力全体でも中国メーカーは日本メーカーの 3 倍以上の基数を納入しており、このことは中国製火力の性能や品質の向上の原点となっているとも考えられます。

4. 石炭火力の建設費

- ・かつては中国製の USC 石炭火力の建設単価は 5 万円/kW 台といわれていたこともありました。これはかなり劣悪な品質の石炭火力の建設費の最小値という感じでありました。現在は日本の USC 石炭火力の（かつてに比べればかなり頑張った価格である）20 万円/kW に比べて、ある程度の品質の確保された中国製 USC 石炭火力で半分程度というのが相場のようにあります。

- ・この差の原因の大きな理由として3点、一つは①高温部材の価格差、二点目が②人件費、三点目が③総合的なコーディネイトに基づく総合品質の確保（リスク対応も含む）の有無、ということが考えられます。
 - ①の高温部材価格については、その格差は大きく、材料費の大きな部分を占める高温部材の価格の違いは建設コストに大きな影響を及ぼします。二段再熱 USC 石炭火力では、一段再熱 USC 石炭火力より使用料が増加する 25Cr-20Ni 鋼（ステンレス鋼）の価格が日本の 12Cr 鋼より安いというのは大きなインパクトであります。
 - ②の人件費については、中国でも少しずつ高くなってはいますが、日本に比べれば安価です。
 - ③の総合的なコーディネイトに基づく総合品質の確保は、日本のメーカーの得意とするところで、各部品や構成設備の調和を図り、無駄のない十分な設計を調整し、さらにシステムとしての性能を確認し、後々の運用に向けた準備まで一貫して行うことで、商業運転開始以降の運用性や稼働率を向上させる技術と言えますが、この点が日本製の価格の高い理由にもなっていました。逆に日本製の場合、建設当初の価格は高めですが、トータルライフコストで見れば、緩和されるということでもあります。
- ・現時点で、それぞれの国の材料と人材を活用して、かつ③のトータルライフコストの低減対策を同様にとり入れた（またリスク対応費用もある程度上乘せした）価格同士で比べると、中国製は日本製に比べて3割程度安いと言われております。
- ・日本製品の価格低減のためには、中国製高温部材等の材料を使用すること、現地の人材をより多く活用すること、そして厚すぎないトータルライフ性能向上のためのコスト低減策を進めることとなりますが、これらを実践した場合の日本としての旨味は何なのかが問題となります。

5. 中国の2段再熱 USC 石炭火力と性能・耐久性

- ・日本製としてまだ製作・建設実績のない、2段再熱 USC 石炭火力が、中国では既に製作され、2015年から少なくとも6基が運転されており、その設計熱効率は日本にある（1段再熱）USC 石炭火力より2～3ポイント上回っております。

日本製として製作・建設実績がない（また日本国内に存在しない）のは、2段再熱 USC 石炭火力でその使用量が多く使用される 25Cr-20Ni 鋼（ステンレス鋼）の価格が高く、2段再熱にしても経済的にメリットが小さいことが、その理由として考えられます。なお、中国の2段再熱 USC 石炭火力が定格通りの蒸気条件等で運用しているかどうかは、確認が取れていませんが、初期トラブルを除けば、クリープ強度上の課題があったとしても5～10年程度は問題が顕在化することなく、運用できるのではないかと予想されます。
- ・また一方で、（一段再熱）USC 石炭火力も耐久性の問題から運転累積時間によっては蒸気温度等の運転条件を緩めて運転し、定格性能が得られていない石炭火力も散見されます。日本の USC 石炭火力の場合も（なかなか実態が把握できないのですが）同様な運転が行われているケースがある模様です。
- ・これは、USC 石炭火力に必要な 12Cr 鋼等の高温部材はそのクリープ強度の評価に議論が残る

ところがあり、クリープ寿命が近づくと、延命のため蒸気温度を低下させる運転が行われるケースがあるからです。当然この場合、カタログ性能は得られません。

6. 中国製石炭火力の納入実績

- ・上述の通り、2000年以降の石炭火力の製作納入実績は USC 石炭火力でもそれ以外の型式も含めた石炭火力全体でも中国メーカーは日本メーカーの3倍以上の基数をおさめており、多くの納入実績を通して中国製石炭火力の性能や品質は徐々に向上し、一定の性能と品質を確保したうえで、価格競争力も強化されました。
- ・さらに2015年以降、日本でもまた日本製としても、まだ建設経験のない2段再熱 USC 石炭火力の製作、そして運転が開始され、日本の技術水準を追い越そうとしていると考えることが、自然であります。その熱効率率は日本にある（1段再熱）USC 石炭火力より2～3ポイント上回っております。
- ・中国製の石炭火力は性能も価格も優勢、そして品質や耐久性も遜色がなくなりつつあり、日本の石炭火力技術が優位を保っているとは言えない状況になっております。

7. 中国製石炭火力躍進の背景

- ・中国製石炭火力については、近年の中国の技術基盤全般の底上げの中で、中国製の建設実績、運用実績の急増による多くの経験が、実力の向上につながったことは言うまでもありませんが、その基本となる技術力の成長の原点はどのようにして育っていったのでしょうか。その最も大きな要因の一つが、日本からの技術移転であると考えられます。
- ・日本製の石炭火力は1980年代半ばから、中国や韓国を中心に数多く輸出されました。建設納入の一つの条件的なものとして、石炭火力に関する技術移転も盛んに行われました。これは、国家あるいは企業の輸出戦略の一環として、あるいはその前提となる日本の技術者の善意に支えられ、日本の火力技術は時として無償に近い様相で、見方によっては安々と流出したともいえます。
- ・その技術移転料や赤字分を取り戻そうと次号機以降の価格を高くして、中国客先との関係が円滑ではなくなった事例も散見されました。
- ・また、日本と中国の電力会社間の技術交流も盛んに行われ、石炭火力の初期性能や品質・信頼性の審査技術から、運用(運転と保守)技術まで幅広い技術移転により、中国のユーザー技術の育成は進みました。時には日本製の石炭火力の設計や建設の性能・品質等の審査・検査方法を日本の電力会社が中国の電力事業者に指導したこともありました。
- ・これらのことは、当時の性能（熱効率や環境性）や品質・信頼性に優れた火力技術を石炭の多量消費国である中国等に広める意味から有意義であることは勿論ですが、何点か改善すべきであった以下の課題がありました。これらは現在までに少しずつ改善されつつありますが、決して十分ではないと感じます。

- ①技術移転や技術供与に対しては、より適切な契約による相応の対価を求めることが必要でありました。
 - ②さらに、運用していく中で現れる劣化や性能低下、信頼性低下に対して、それを改善し目標性能を維持することが事業者としての責務であり、長期的な視野に立てばより効率的経済的であるということ、確実に継承することが必要でありました。
 - ③技術移転をするとともに、次の独自の技術の研究開発も確実に進めて、常に懐には珠玉の技術を維持し続けることをより強く推し進めなくてはならなかったのだと考えられます
- ・もちろん、中国へのインフラ輸出は当時の重要課題であり、全力で臨んだ結果であったと言えます。ですからこれらの鳥瞰は後からの結果論ではありますが、今後の糧とすべき重要なことであると考えられます。

8. 石炭火力への取組み方

- ・ CO2 等の地球温暖化ガスによる気候変動が叫ばれ、その事実が全世界で認められ、世界が迷いなくその方向で動いている今、LNG（ガス）焚火力発電の 2 倍の CO2 を排出する石炭火力の削減の必要性は間違いありません（最高効率の石炭火力でも 2 倍が 1.9 倍になる程度）。
- ・ 日本としても、CO2 の削減に向けて、化石燃料による火力発電の削減、とりわけ石炭火力のシェアをできるだけ減らす必要があります。海外に対しても、石炭火力の削減を働きかけなくてはなりません。そのためには、石炭火力に代わる発電システム・設備、エネルギー貯蔵システム・設備、省エネ機器などを提案すべきであり、その技術の開発が必要です。これらはビジネスの観点からも有効です。これらについては、各方面で力を尽くしているところであります。
- ・ では、石炭火力に依存しなければならない海外の国（例えば東アジアや東南アジア諸国あるいは東欧諸国）が、石炭火力の建設や改修、運用を行うにあたり、日本の企業にも応札の機会がある場合はどうでしょう。もちろん気候変動対策として日本の上質の石炭火力技術を活用することは極めて有意義であります。
- ・ しかしその場合、①石炭火力の推進が目的ではないこと、利益追求のためではないこと、総合的に脱炭素につながる活動であること、などのスタンスの観点、②実効的な上質の石炭火力技術の確実な活用実現の観点、これら二つの観点から、日本としてあるいは企業として以下の点に十分留意することが大変重要であると考えられます。即ち、
 - ①の観点を中心に
 - a. 優良な低炭素技術を広く活用することが目的であること
 - 利益追求が最優先ではないことの明確化、低炭素化の重要性を共有する相手と
 - b. 石炭火力の場合でも、代替案あるいは将来案として脱炭素につながるものであること
 - 可能な限りの低炭素化を提案、再エネとの組合せなど
 - c. より高い効率（低い CO2）で環境性にも優れること
 - USC（一段あるいは二段再熱）、NO_x・SO_x・煤塵の低排出値
 - d. 再生可能エネルギーの中心的利用を前提として、その弱点を補う高い機動性を有すること

——低い最低負荷、高い負荷変化率、高い部分負荷効率、短い起動時間、低い起動停止損失

⑤の観点を中心として

e. 経年劣化による性能や信頼性の低下を極力抑え、計画性能と信頼性を維持できるシステムを備えていること

——環境値をはじめ蒸気やメタル温度等の連続計測と遠隔監視、長期保守契約など

f. 必要な技術者の育成や育成システムも併せて提案すること

——運転・保守要員等の育成パッケージ

g. 正当な対価によって提供すること

——ライフサイクルコスト低減による経済性の理解促進

などが挙げられます。

- ・ 重述となりますが、低炭素化に向けた取組みであること、発注者側の理解のもと上記の各事項が仕様書上に明記され、どこの製作メーカーが落札しても低炭素性が維持されることが必要です。そのためには日本側（官民）からの働きかけによる理解促進が重要です。
- ・ 一方、日本の石炭火力製作メーカーが、海外の石炭火力建設等を受注するためには、（中国との競争という観点からも）何点か課題があります。
1 番目は、価格です。中国御三家（メーカー）といわゆるガチンコの競争をした場合、3割程度の価格差があると言われていますが、これをどう解決するかです。これまでの枠にとらわれず、広い視野と新しい着眼点によって、一層のコストダウンの余地はあると考えられます。さらに2段再熱 USC 石炭火力の価格を抑えた製作にどう踏み込むかもポイントです。
- ・ 2 番目の課題は、ライフサイクルからみた契約条件の明確化です。ガチンコの競争といっても、中国製の石炭火力の性能や品質・耐久性がどこまでのレベルか未知の部分もあります。ライフサイクルからみた性能や品質・信頼性について、必要十分な契約仕様の精査と明確化が重要です。使用する燃料性状や、設計性能のみならず運用性能、稼働率やアヴェイラビリティなどの契約値とペナルティなどがその対象です。
- ・ ここで、特筆すべきは、使用する燃料の性状の重要性と石炭火力の性能維持の難しさです。石炭火力の性能は石炭灰の特性（すなわち燃料性状等）とそれに対応したボイラ設計の如何によって大きく左右されます。灰の生成と伝熱面への付着状況により、性能と耐久性が大きく影響を受けることとなります。使用する燃料性状の明確化と維持すべき性能や耐久性を明確にすることが、ライフサイクルからみた低炭素化の要となります。
- ・ 3 番目として効率的な長期保守契約と遠隔監視システムの高度化です。これが運用中の石炭火力の CO2 排出値をコントロールすることになり、低炭素化実践の肝になります。
- ・ 繰り返しになりますが、日本としての石炭火力の輸出が、優良な低炭素技術を広く活用するためのものであり、利益追求が最優先ではないことを、国として広く公報し、併せて必要な性能や信頼性に関して明確な契約内容とすることも後押しし、低炭素化の重要性を共有する相手と取組めるような土俵を準備することが大変重要であると考えます。
- ・ 以上の取組は、気候変動対策として意義あることと認識し、また成果を出せる可能性、検討す

るに値する取組みであると考えております。

- ・最後になりますが、日本としての脱炭素化の推進はまだまだ必要で、改めてその認識の浸透を図ることが重要であると考えております。そのうえで、「産（と民）」のレベルの低炭素化に向けた技術力の一層の改革・革新が必要であると考えます。あわせて、これまでの枠にとらわれない新しい視点からの研究開発を「学」のレベルから掘り起こす必要があると考えられます。この「学」レベルの研究開発は自由度の高い、色のつかないものであることが望ましく、「官」の後押しが必要となるものと考えます。これが、低炭素化技術に限らず、我が国が珠玉の技を育てる基本であると考え、
「退職者たちの冷や水かも知れない」と思いつつ、議論を重ねております。

以 上