

グリーンイノベーション基金事業  
「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する  
研究開発・社会実装計画（改定案）に対する意見公募の結果について

令和5年10月23日  
経済産業省製造産業局金属課

「グリーンイノベーション基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画（改定案）」について、令和5年9月1日から同年10月1日まで意見公募を実施いたしました。

結果については以下のとおりです。

**1. 意見公募の実施方法**

- 意見募集期間：令和5年9月1日（金）～令和5年10月1日（日）
- 実施方法：電子政府の総合窓口（e-Gov）における掲載
- 意見提出方法：e-Gov、郵送、電子メール

**2. 提出意見数**

12件

**3. 提出されたご意見の概要及びそれに対する考え方**

別紙のとおり。

御協力いただき、誠にありがとうございました。

## ご意見及びご意見に対する考え方

整理 番号	ご意見の概要	ご意見に対する考え方
1	<p>見え消し版へのコメント</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3ページの最下行の9行上「さらなる」は「更なる」のほうがよい。5ページ等の例と同様に。</li> <li>・17ページの17行「電気炉法」は、4ページの最下行の6行上「電炉法」とは別の物であると解釈してよろしいか？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ご指摘を踏まえ、「更なる」に修正いたします。</li> <li>・「電気炉法」は、「電炉法」と同様の意味で使用しております。ご指摘を踏まえ、「電炉法」に統一いたします。</li> </ul>
2	<p>1. 背景・目的</p> <p>・鉄鋼業の重要性と課題解決の方向性 「欧州やアジアの各国も実用化を見据えた技術開発を進めており、これまで製鉄プロセスに用いられていない技術の活用に向けた研究も始まっている。」とあります。海外では水素供給が確保できた時点で水素製鉄にそのまま使え、水素製鉄の母体となる還元鉄プラントの建設は既に始まっています。ご存知のようにドイツの thyssenkrupp は 250 万トン/y の還元鉄シャフト炉とメルターの商用プロセスを SMS グループに発注し、2026 年からの稼働を目指しています。中国では河北鋼鉄が張家口にて Tenva-HYL グループに 60 万トン/y プラントを発注し、昨年末から稼働、2 基目の建設に入っています。この現況から海外では研究ではなく「事業投資」段階にあります。先の「製鉄プロセスに用いられていない技術」ではなく「利用されてきた技術を活用している」が正しく、先行する海外勢の積極的動きの認識不足とも取れます。日本の GI は研究レベル段階であり、国際会議でも発表が皆無（あっても構想のみ）に近く、日本の技術のプレゼンスは希薄です。本年の 6 月に開催された国際会議 ESTAD2023 の初日の基調講演でアジア代表は POSCO です。今後、加速するには現状認識を深め、計画、戦略に問題がないのかなど、何故、遅れを取っているのか状況分析をしない限り、加速計画に繋がりません。</p> <p>「日本の鉄鋼業の勝ち筋」、「技術開発のさらなる加速化による革新技術の早期獲得が重要」の文言があります。世界的に鉄鋼分野では鉄鋼産業とエンジン企業、エネルギー企業とグローバルに一体になって動いており、各社の情報交流が活発であります。ゼロカーボンは共通目標であり、競争的に捉えるべきでなく、技術開発競争ではなく、良いプロセスを協調的に導入し、クリーンな鉄を製造することが鉄鋼産業の共通の使命です。「勝ち筋」といった開発段階での競争的な表現は偏狭的な捉え方に見え、グローバルな視点から捉えるべきです。視野を拡大すべきで</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高品位鉄鉱石を用いた天然ガスによる直接還元技術は確立されているものの、水素による直接還元製鉄技術はまだ確立されておらず、実証段階であると認識しております。また、低品位鉄鉱石を用いる直接還元製鉄については、粉化・固着化等の課題が残っており、本事業において研究開発を進めてまいります。引き続き情報収集・分析を丁寧に行いつつ、関係者ともよく議論したうえで本プロジェクトの加速化に努めていきたいと考えております。</li> <li>・ご指摘のとおり、鉄鋼産業全体のカーボンニュートラルの実現が重要であり、本プロジェクトによる開発技術を主にアジア地域等に移転すること等により、世界全体のカーボンニュートラルに貢献していくべきと考えます。引き続き、関係者ともよく議論したうえで効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。</li> </ul>

国際的な場での活発な交流、日本側も具体的な技術ビジョンを出すなど情報交流が必要です。

「革新技術の早期獲得」とありますが、どのようにして加速するかを記述すべきです。水素製鉄といえども、従来と異なるプロセスではなく、還元鉄プロセスの延長であり、海外勢はそれをベースにして出発しています。“Proven technology”の利用が重要です。その観点からすれば、50年の歴史を持つ既存の還元鉄プロセス技術を活用して水素製鉄のベースにしていくのが得策で、GIのようにミニプラントを建設し、徐々に拡大していく方法は賢明ではありません。初期値から不利です。国際連携など開明的な指向で開発計画を組むことが加速の有効な手段です。

歴史的に日本は既存の認知された優れた技術を導入して、それを協調的に国内展開し、レベルアップを図ってきました。日本の鉄鋼企業は鉄鋼生産企業であり、エンジニアリング企業ではありません。日本には当該技術がないから、そのまま研究課題であるという論調で、開発の必然性がわかりません。課題をそのまま自国の鉄鋼の開発課題として捉えて、日本鉄鋼企業が独自に最初から研究開発に乗り出すことは得策ではありません。欧州、中国、POSCOのように海外エンジ企業との国際連携などを図り、国内展開していくのが本筋です。

欧州で先進的な低炭素技術を開発しているのはSMS、Primetals、Tenova HYL、HATCH、MIDREX Technologies など実績のあるエンジ企業で、thyssenkrupp、Tata Steel Europe、Baowu、河北鋼鉄など、鉄鋼企業はそれを選択する立場です。即、自国の研究開発に持っていくのは短絡的な指向です。なお、Primetals は三菱重工の子会社であり、MIDREX Technologies も神戸製鋼所の小会社で日本系企業です。協調しやすい立場にあります。それらの企業が加わってなく、特に水素製鉄シャフト炉開発に優位にある神戸製鋼所が入ってないのは、加わるメリットがないとも思われ、日本発の技術に期待していないとも受け取れます。大型電炉の開発も項目に入っていますが、現在、スクラップ利用を担っているから電炉ミルの参加は見当たりません。日本最大の電炉を持つメーカーは電炉業界にあり、この技術分野のトップとも言えるイタリーの Daniel 社製で、大型電炉が何故、開発対象になるのか不明です。

還元鉄シャフト炉の開発を基礎から始める計画になっています。現在の還元鉄シャフト炉は完成されたMIDREXとENERGIRONに絞られます。欧州、中国は全て、どちらかの選択に絞っています。早期実現を目指すには、それらの企業との連携を図るべきです。GIにおいて、水素製鉄では吸熱による温度低下が大きな課題となっていますが、国際レベルで水素製鉄実現に関して、それが課題であると認識されて

・本計画において、日本の立地環境もあり独自開発を進めることは重要と考えます。他方、技術開発の実施にあたっては海外の動向も注視しつつ、共同研究により技術開発の加速が見込まれる分野においては海外連携も視野に入れて早期の実用化を目指すこととしております。また、現在の研究開発実施体制については、再委託先も含めれば、各分野の企業等が参画していると考えております。

いません。シャフト炉は高炉と異なりガス循環が可能で、MIDREX はガス原単位増量で水素吸熱の補償ができるとし、技術知見を既に有しています。ENEGIRON ではメキシコのパイロットプラントで 90%水素まで検証済みです。「前人未踏の技術」の表現が本プロジェクトの起案段階でありましたが、これは日本にとっての前人未踏であり、海外勢は既存技術を活用して既に頂上付近に到達しています。世界の趨勢と技術レベル、日本の立ち位置を考えるべきです。

設備技術の経験も重要な項目で、日本企業が今から実験プラントを建設しても、商用炉の運転経験が皆無です。プラント設計には EPC 技術(Engineering、Procurement、Construction)が不可欠ですが、現在の参加企業にはその知識、経験がありません。還元だけでなく、シャフトへの原料装入、熱間での排出、再酸化を防ぎながら還元鉄をホットの状態ですぐに次工程の電炉、メルターに大量移送するハード技術などの技術要素もあり、これを今から国産技術で対応できるとは思えません。国内開発で進むなら、先行プロセスより、どこが優れているのか、既存技術に対する優位性を示して開発に取り組むべきで、自国開発の必然性が不明です。

1970 年代、1980 年代の高炉外の製鉄法が注目された時代、日本の有力鉄鋼企業も開発に取り組み、国内での 500t/d のパイロット試験を経てマレーシアに 40 万トン/y 商用炉を建設しました。しかし、所定の性能に達せず撤退し、HYL 系に置き換わりました。この分野では歴史的に失敗例も多く、それ以降、高炉ミルが直接に開発に触れていません。結局は完成度、実績のあるプロセスをエンジ企業から導入し、ベース技術とするのが正攻法です。

・メルターと呼ばれる電気溶融炉(電炉の一種)の開発追加

重要な追加項目です。元の GI 計画では豪州系の高品位でない鉄鉱石を対象に電炉法で高品質な製品を製造することを前提にしてきました。プロセスとして還元鉄シャフト炉と電炉の組み合わせを表明しました。この指向が不十分で、今回、手段が大きく変わっていることを示しています。

鉄鋼製錬の知識のある研究者ならば、高品位でない鉄鉱石をシャフト炉で還元しても、次工程の電炉は開放系の酸化雰囲気炉であり、脈石量の関係からスラグ比が 300kg/t を超えてしまい、スラグ中の FeO は 30%を超え、その結果、鉄歩留まりが 90%程度に低下することは自明です。既存の転炉で行っているような脱リンなど高度酸化精錬も電炉では不可能なことは鉄冶金、スラグ設計の知識があれば自明であります。高品位鉄鉱石前提の還元鉄製造量は既に年間 1 億トンを超え、海上輸送可能な高品位鉄鉱石は、今

・電気溶融炉の実用化実績につきましてご指摘をいただきましたが、海外では非鉄金属用の大型炉は実用化されているものの国内にはなく、また国内外で製鉄プロセスにおける実用化例はまだないものと認識しております。本計画では、国内にない大型の電気溶融炉を製鉄プロセスに活用し、高炉法を代替し得る生産効率と不純物濃度を実現する技術の開発を目指すこととしています。スピード感を持って開発を進めていくうえでは、例えば、海外・他分野において実用化されている炉メーカーと連携するなど、既に確立している技術をベースにすることも重要であると認識しており、こうした点も踏まえて、実施者の採択を行ってまいります。

また、鉄鉱石品位含む具体的な各目標値については、提案事業者の提案内容に応じて求めてまいります。社会実装計画においては、満たすべき数値を例示しております。

後、入手困難であることは原料情報からわかっていました。すなわち、初期の計画の還元鉄シャフト炉と電炉の組み合わせは今後の日本鉄鋼には不適であることは当初から容易に予測できていました。既に海外では、例えば Primetals 社は 2-step 法と称し、還元鉄をメルターで溶銑化して、その後に既存の転炉で精錬、脱炭、高級鋼を製造するのが、今後の鉄資源動向から、また現在の既存の製鋼以降の機能を活用でき、以前から優位であることを定量的に示しています。他のエンジ有力企業の SMS、Tenova HYL、HATCH も同じ指向で、国際会議で同様なプロセスの具体的な提示をし、水素製鉄化への主流です。日本のように既存の製鉄所を抱え、一般的な品位の鉄鉱石から高級鋼を製造するなら電炉ではなく、転炉以降をそのまま活用できるメルター方式が適することは明らかです。日本の鉄鋼企業と立場に近い thyssenkrupp もこの方法を選択し、Tata Steel Europe、ドイツの HKM も同じルートを採用と発表しています。先導研究など初期の段階において、今後の海上輸送可能な高品位鉄石の量の把握、プロセスの冶金的な考察が不十分であったと思われます。

なお、メルターと記しましたが、冶金的には OBF(Open bath furnace)の区分で、さらに電気製錬であって ESF(Electric Smelting Furnace)と名称は企業によって異なり、さらに運転方法も Submerged arc mode か、Brush arc mode かなど電極の使い方も企業によって異なります。メルター設計にも関わり、具体的にどのような特徴を持つメルター開発を目指すのか明示して下さい。

上記の方向は GI プロジェクトの前身である先導研究段階で既に予測できた事象であり、今回の開発追加はそれを認めていることに他なりません。それで、どうするかですが、大型電炉の開発に加えて、原理が全く異なるメルター開発を日本でこれから開発では間に合いません。Self-baking の自焼成電力の使用で Pre-melt 電極の電炉と構造は全く異なります。具体的な技術展望を示すべきです。実用化されているのは合金鉄用の小型炉に限られるとありますが誤りです。鉄系での実績は砂鉄を除いて少ないですが、原型となる非鉄分野で、POSCO は光陽に世界最大級の 135MW の大型 Fe-Ni 炉、120MW のメルター型大型炉を既に保有しています。鉄系では 100 万トン/y に相当します。

このメルター開発も GI 参加企業が担当する計画ですが、このような大型メルター開発技術は日本にはありません。「タナベ」がありますが、世界的には SMS グループの METIX、Tenova HYL、北米の HATCH などのエンジ大手が非鉄用メルターの経験を活かし、設計案を提示しています。既に大型炉設計の技術を保有しています。圧倒的な技術力です。光陽の 135MW の

炉は 40x14m の長方形の大きな炉で、SMS グループ建設です。もう一つは HATCH 建設です。必要とされる規模は 100 万トン/y を超えます。今から、日本企業が乗りだしても「世界の勝ち筋になる」レベルに達するとは思えません。日本は使う立場です。早期の国際連携、技術導入が「勝ち筋」です。

メルターは高炉スラグと同等のスラグを出せるとありますが、冶金的には自明のことです。酸化鉄を 3% 以下にするとありますが、高炉と同等ではありません。高炉スラグ並みの 1%以下を目指すべきでしょう。電炉も含めて、メルターの技術情報、目標が不足です。予算とも関係し、説得力のある計画にするなら塩基度、スラグ比、鉄歩留まりなど数値的な目標条件を提示すべきです。また高品位鉱石、低品位鉱石の数値表示がありません。メルター採用と関連します。一般には鉄品位 67%が閾値です。

・シャフト炉の運転条件及び電炉あるいはメルターへの移送技術

シャフト炉には上記の二社が圧倒的なシェアを持っています。ただし、両者で圧力条件が大きく異なります。MIDEEX は 0.5bar と常圧に近く、ENERGIRON は 6.5bar と高圧系で、この差異は原料装入系、排出系設計に大きく関わります。ENERGIRON 系は冷間排出が多く、ステイキング対策も異なります。日本の計画では目標運転条件が開示されていません。研究開発の課題設定、今後の実設備設計にも影響しますので明示すべきです。単なる還元の研究になっていません。

さらに重要なのはシャフト炉から排出された還元鉄の移送方法です。CO2 削減拡大からホットでの排出、電炉、メルターへの装入が必須です。600-700°C のホットチャージが現在では採用されています。500°Cで 100KWh/t、削減できます。この開発についての課題設定がありません。再酸化を防ぎ、エアタイトにする、所要動力をミニマムにするのが条件で、シャフト炉の設計とリンクします。またシャフト炉、電炉、メルターのレイアウトをどのように配置するかも所要エネルギー、CO2 発生と関わります。Thyssenkrupp 案は傾斜コンベアーの HTC(Hot Transport Conveyor)採用で、近接配置です。また還元鉄では HOTLINK、HYTEMP 形式が現在、主流です。GI ではどのように対応するのでしょうか。HBI は海外への海上輸送用で、日本の GI 計画では対象外です。

## 2. 目標

・実験規模が全て実炉の 1/5 など相対的な数字になっています。高炉では 4000m3 高炉から超 5000m3 高炉まで存在します。予算措置に関わるので、具体的な装置規模の数値を示すべきです。他にも同様な表現が多々あり、規模感、開発イメージが湧きません。予算策定に支障が出るはずで

・本計画では、直接水素還元技術が高炉法の代替技術となることを目指し、高炉水素還元技術と同水準の CO2 削減効果を目標値として設定しています。その他の個別詳細な研究開発課題については実施事業者の保有設備・用役等を加味して設定しておりますが、ご指摘の点を踏まえ、関係者ともよく議論し、効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。

・本計画において、実高炉の規模は 5000m3 級を想定しておりますが、ご指摘のとおり、国内には様々な規模の高炉がありますので、実証試験に使用する設備等については、実施事業者の保有設備を加味して、審査・決定することとしております。そのため、本

<p>・中規模試験高炉の必要性  富津では 12m<sup>3</sup> の試験高炉、千葉には 150m<sup>3</sup> の小型高炉を新たに建設し、次ステップとして中規模試験高炉が挙げられています。高炉はプロセス的にモデル計算的にもスケールアップ理論で繋がるプロセスです。本計画の内容、意義が不明瞭で具体的に水素高炉の中間炉か、炭素循環の中間炉を指すのかわからず、まずそれを示すべきで、多額の予算を要する部分であり、1/5 規模の炉が何故、必要なかが読み取れません。150m<sup>3</sup> の高炉で検証できれば、次ステップの商用炉設計は優れた日本の製鉄技術をもってすれば可能であり、局所的な問題があるなら、大型炉の部分試験で検証できます。日本のような鉄鋼研究の先進国が何故、このような段階的なステップを取るのか疑問です。予算、開発期間に大きく関わります。決断を先送りしているのかとも解釈されます。この中間規模の必要性によって、計画、予算が大きくあります。</p> <p>・12m<sup>3</sup> の試験高炉の操業は 10 年以上、続けています。これだけ長期間の運転を行っても課題があるとも解釈され、この計画自体、非常に緩慢な開発に思えます。ULCOS の試験高炉は 10 年以上前に 3 年間、3 回のみのお操業で結論を出しています。目標が当初から明確でなく、その都度、何か課題が出てきて、研究を進めているとの印象を受けます。個々の年度の結果についてメリハリを付けて進めるべきです。COG の水蒸気開発が出发点で、化学量論比で設定した水蒸気量で改質を行うことを目指したはずですが、今は外部水素に置き換わっています。COG を水素源にするのが困難ならば停止の結論を出せばよく、国のプロジェクトであり成否の結論を明確にしてください。</p> <p>・目標の困難性の記述があります。水素還元、スケールアップなどが挙げられ、本目標の達成は容易でないとして示されています。ハードルが高いと記されています。そして、即、研究計画の線引きになっていません。技術課題に対して、それを克服する独自の着想、手段の提示があつて、初めて研究計画の立案になります。ところが、その論理展開がなく、「ハードルが高い」の繰り返しです。以降、研究の装置規模の説明があるだけです。これでは研究開発計画とはなりません。</p> <p>3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援  以下、全般的な総括です。  1) 国の支援の姿</p>	<p>計画においては相対的な数字で規模感を示していません。</p> <p>・これまでの水素還元製鉄に関する研究成果から、水素還元高炉では炉内の熱化学的な反応及び物質の流動が従来高炉と大きく異なることが判明しています。したがって、実機規模において最適な仕様が現状の高炉とは異なる可能性があると考えられることから、本計画においては、小規模試験を経て中規模試験炉を設計・建設し、中規模実証試験を経たうえで実機規模での試験に進むこととしています。</p> <p>・研究開発が長期に亘った場合に効率性の低下が課題になることがご指摘の点かと思いますが、カーボンニュートラル社会の実現に向け、製鉄業界として排出される CO<sub>2</sub> の削減を追求して実施していくことが必要であると考えております。そのうえで、進捗状況の確認、技術面・事業面・経営面のモニタリングを毎年行っており、事業化段階の切れ目等に設定しているステージゲート審査においては事業継続の検討も行うことになっております。また、本プロジェクトでは、製鉄プロセスの脱炭素化の実現に向けて、COG だけでは水素供給量が足りないことから COG に加えて外部水素を活用した技術の開発も進めています。引き続き、関係者ともよく議論したうえで、効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。</p> <p>・本計画の 20 ページに記載のとおり、研究開発目標の達成には様々なアプローチが考えられ、また競争を促す観点からも、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則としております。</p>
--	---

・水素吹き込みの位置づけ、水素製鉄への移行との関係説明が不足し、どの段階で水素製鉄に移行し、どこまで現行高炉を改修し、利用していくかなど時間軸を入れた将来への Pathway が見えません。GI のプロジェクトは全て並行的に見え、提案研究に全て資金を投入し、分散的なプロジェクトであり、どのように収束させるのか不明です。さらにメルター計画が加わっています。thyssenkrupp は一時、水素吹き込みを行いました。既に外部水素吹き込みは止めて水素製鉄指向に絞っています。収束方向です。

2040 年に実装化を目指すとのあります。今後の生産構造を明確化し、現在の高炉寿命は約 20 年ですので、例えば高炉改修計画をどのようにして GI 計画を実装化するのかも示すべきです。欧州の各企業は 2050 年での生産構造、例えば高炉は全て止めるなどをビジュアルな構想を明示しています。潤沢な補助金を得ての開発であり、各参加企業は 2050 年への具体的なロードマップ、2050 年の生産構造の提示し、その中で今回の GI 計画の位置づけを示すべきで、国も指導すべきです。

2) 日本が開発しようとする水素製鉄プロセスの特徴と優位性、何故、自国開発なのか

特に水素製鉄の開発ですが、日本が独自に開発するプロセスの特徴は何か、既存技術と比べて、どこが優位なのか、自主開発の必然性、意義が GI 計画では最後までわかりません。単に一般的な課題があるから研究で終わっています。早く商用化を目指し、その器を作るなら、今まで述べたように海外との連携で片付きます。こちらが「勝ち筋」であり、競争的に見れば他国には脅威となります。鉄鋼企業とは優れた鉄製品を社会に製造、提供し、収益を上げるのが役目で、プロセスの提供は技術経験の豊富なエンジン系企業であり、鉄鋼企業はそれを技術的、社会的価値観から選択できる側です。今回のメルター開発のように、この方法があるからこれも予算化して自国開発となっていますが、まず自主開発の必要性を精査してプロジェクト立案に臨むべきです。開発リスク、技術レベル評価、商用化までの時間短縮、国際戦略性から見れば、現在の GI 計画が効率的でないのは明らかです。まずは海外勢と初期値の段階で立ち位置が異なり、海外勢に遅れるばかりです。日本の戦略と戦術が見えません。

またシャフト炉と電炉、メルターとの連結方法は還元と同様に重要な課題です。ホットチャージが CO<sub>2</sub> 削減効果を最大化する上で重要なのは明らかであり、シャフト炉研究もそれを前提にした進め方になり、具体的なホットの還元鉄移送技術、また根本となる全体レイアウトも現在の段階で合意を得ておかないとシャフト炉設計も影響を受けます。日本の既存の製

・ご指摘いただきましたとおり、本プロジェクトの成果をすみやかに社会実装することは重要と考えており、今後の本プロジェクト及び関連プロジェクトの研究開発の進捗状況等を踏まえつつ、実施事業者の社会実装に向けた取組の明確化を図ってまいります。なお、実施事業者は事業戦略ビジョンにおいて、2050 年のカーボンニュートラルに向けた社会実装へのロードマップとして、事業等のビジョンも示しており、その内容もモニタリング時の審査対象としております。実施事業者の事業戦略ビジョンは公開されております(なお、各企業において機微となる情報の掲載はございませんので、ご了承ください)。

・日本の鉄鋼業のビジネス環境を踏まえ、カーボンニュートラル社会においても、低品位鉄鉱石を用いて日本の強みである高級鋼を生産していくことは必要不可欠と認識しております。そのため、本プロジェクトでは、低品位鉄鉱石を使用し、還元ガスを水素に置き換えることで脱炭素を目指す、新たな技術開発に取り組むこととしています。スピード感をもって開発を進めていくうえでは、すでに確立している技術をベースにすることも重要であると認識しており、こうした点も踏まえて、関係者とよく議論したうえで効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。

・還元鉄のホットチャージについては、放熱ロスの抑制につながることから主として電力原単位削減に寄与する技術であり、CO<sub>2</sub> 削減に加えコスト低減に寄与する技術として位置づけられると考えております。したがって、立地条件や他の技術を含めた、総合的なプロセスの優位性の検証の中で評価していきたいと考えております。

<p>鉄所のレイアウトとの整合性が問われます。シャフト炉の運転条件が変わります。</p> <p>3) 予算の使い方及び体制</p> <p>事業費は大きく増額されています。欧州、中国など海外は公的資金の導入もあって、早く開発が進んでいるとの説明を見受けられますが、スタート時の約2000億円予算だけでも世界的に見れば潤沢な金額です。不足に見えるのは高炉での水素利用強化、炭素循環高炉、水素製鉄、電炉開発、さらにメルター開発が加わり、将来的に日本に合致した共通の目標像がなく、参加企業の提案をそのまま受け入れ、分散的なプロジェクト構造になっているためです。しかも海外との連携を外し、日本の鉄鋼高炉企業の数社のみでの参加、国内外のエンジニア企業、電炉メーカーもなしで、閉鎖的で特定の企業研究支援で非効率な開発です。大きなプロジェクトは「オールジャパン」で叫ばれますが、その形態になっていません。国の使命がかかった計画です。海外の高炉ミルだけでなく、エンジニア企業グループも含めて当該分野の世界動向、開発体制、技術レベルの精緻な調査が不十分と見受けられます。</p> <p>thyssenkrupp の還元鉄とメルター建設は 2.0billion€で CAPEX の 1/4 が EU 支援です。日本でも目標を絞り込み、海外からの技術導入で早期に商用化できるプロセスは導入とし、真に開発課題として抽出したテーマに予算とマンパワーを集中すべきです。残された時間に余裕はありません。2023 年は今までの成果の評価を進め、絞り込みの時期で、これが開発加速と効率化に繋がります。予算を増額しても受ける企業のマンパワーと処理力には限界があります。予算増額が加速になる訳でなく、核になるテーマへの予算、マンパワーの集中です。水素製鉄に絞れば、総予算の数分の 1 程度で、100 万トン/y クラスのセミ商用炉が建設できます。このような早期の決断があれば、実行に移せば世界的に注目され、国の支援が役立ちます。</p> <p>また現在は国のプロジェクトとは言え、参加企業が一体になっている体制ではなく、形式的に組織が存在しているだけです。溶融還元開発 DIOS では鉄連内に研究実施委員会が設置され、そこに各社のトップクラスの研究者が出向して企業のブランドを忘れ、一体になって開発を進めました。他では研究組合の形式もあります。GI 鉄鋼はそのような一体感がなく、組織内でも活発な情報交流が行われているのでしょうか。例えば富津の試験高炉操業は関係者に常にオープンで、いつでも経過を現場で見られる形ではなく、外部発表も皆無で、識者に共感を呼ぶような進め方ではありません。姿が見えない試験高炉操業です。</p> <p>4) 最終目標達成は</p>	<p>・本計画 5 ページに記載のとおり、本プロジェクトでは、日本の鉄鋼業におけるカーボンニュートラルの実現に向け、高炉での水素利用や直接水素還元といった革新技術の確立に加え、水素供給を始めとする社会インフラの整備状況までの時間軸等を踏まえ、複数の技術的アプローチを行っていくことが適当であると考えております。また、事業化段階の切れ目等に設定しているステージゲート審査においては事業継続の検討も行うことになっております。体制については、ご指摘いただいた点を踏まえ、関係者ともよく議論したうえで、効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。</p>
---	---

	<p>GI で潤沢な開発資金を投入し、国内全体に開発成果を普及させ、最終的に 2050 年にはゼロカーボン達成することが最終目標です。一連のプロジェクトで炭素循環高炉、水素製鉄を開発し、それが日本の各製鉄所で採用、普及して初めて開発が成功となります。2030 年以降に今回の成果を実際に各社が商用プロセスに採用していくのか、経産省ではどのように実装化を指導していくのか、GI の研究計画段階でも示すべきと思います。鉄鋼の上工程は鉄鋼プロセスの核であり、鉄鋼企業の考えからすれば実績がない技術は使わず、技術導入など信頼できる評価済みの技術を採用するでしょう。GI の各開発担当の企業は実装化段階で性能保証をすることを考えてよろしいでしょうか。</p> <p>EU 支援の場合、Opex の赤字分への補助金が出ますが 10 年間であり、同時に水素化が義務付けられています。莫大な資金を投入する以上、実装化までの政策的な指導感を明示すべきと思います。国の補助では研究開発に限られています。先端分野と異なり、鉄鋼のような装置産業では実装化が律速段階です。そこに国も目を向け、政策的な支援をすべきです。この形態については EU が先行しています。thyssenkrupp のプラントはご存知のように CAPEX の 1/4 が EU 補助、OPEX の赤字分を 10 年間補助、ただしその後水素製鉄への転換が義務付けられている支援形態で、実装化の加速理になっています。</p> <p>追記 産構審の PP 資料の図 「鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた国内外の動向等について」 令和5年9月15日経済産業省製造産業局金属課本資料の5ページの欧州の還元鉄プラント建設動向と地図の組み合わせ図、これは私が数年前に作成した講演用の図とほぼ同じです。表中の項目が簡略化されていますが、各企業の並べ方順、一部の誤り的な抜け箇所もそのままです。Tata Steel Ijmuiden、HKM が原図どおり抜けています。各社 HP、AIST News が出典とありますが、出典の書き方に工夫してください。この図の欧州内での製鉄所の配置、特に北欧の部分、かなり不正確です。今後の範となる経産省金属課の資料ですので正しい表記にすべきです。</p>	<p>・本計画 6 及び 19 ページに記載のとおり、水素還元製鉄技術の社会実装に向けては、本プロジェクトにおける技術開発の進捗状況や水素等必要な社会インフラの整備状況を踏まえつつ、実施企業に対して、製鉄プロセス以外も含めた事業活動全体のカーボンニュートラル化も視野に持続可能なビジネスモデルの構築を求めてまいります。</p> <p>・ご指摘の資料については、ご指摘を踏まえて確認、対応いたします。</p>
3	<p>・【意見0】グリーンイノベーションへの本気度が見えない。 (説明)2 年前に作成された研究開発・社会実装計画の改定案ということであるが、今年の脱炭素成長型経済構造移行推進戦略(GX 推進戦略、??本質を見失った部分もあり、私は反対であるが??)が決まった後の改定案としてはあまりにも不十分な内容で</p>	<p>・改定案は、カーボンニュートラル社会の早期実現に向けて、これまでの本プロジェクトにおける技術開発の進捗、海外の開発状況等を踏まえ、社会実装可能となる時期の前倒しを改定の目的としております。引</p>

	<p>はなかろうか。本筋として大きく変わったと感じるところがない。特に脱炭素化の目標が低く、IEA のグリーンスチールの定義に振り回されている様子など、製鉄業には全くの素人である私にさえ本気度を心配させ、関係企業の方々の心配はいかほどかと気になる。例えば水素直接還元法の困難な様子は分かったが、困難なりの分別・選択・集中をすればいいのに、そのような工夫もなさそうで、実現性が低いと判断したためか単に水素直接還元法への支援の分配比を低いままにしている。なお、GX 推進戦略については、そもそも環境問題から出発して議論すべきものなのにその本質を平然と踏みにじったため私は反対であるが、様々な産業で本気でゼロカーボンの実現のためのメリハリのある開発支援を行うのであるなら個別に賛成したい。製鉄業についても中途半端な計画案なら税金の無駄遣いになり、反対せざるを得ない。</p> <p>追記すれば、単なるお金のバラマキにならないようにしてほしい。そんなことで生き残ってもいずれ衰退する企業を増やすだけになろう。コロナ支援金の例からもよく考えてほしい。</p>	<p>き続き、関係者ともよく議論したうえで本プロジェクトの加速化に努めていきたいと考えております。</p>
<p>4</p>	<p>【意見1】 p.3(溶け込み版, 以下同じ)にある以下の文面が日本の政策の立ち後れを顕著に表していると感じたため、猛省を促したく、敢えて指摘させていただく。</p> <p>『世界的に見ても未だ実用化の例は無いが欧州やアジアの各国も実用化を見据えた技術開発を進めており、これまで製鉄プロセスには用いられていない技術の活用に向けた研究も始まっている。世界に先駆けて水素還元製鉄等の革新技术を確立し、グリーンな高級鋼に特化して生産・供給する体制を構築することが、日本の鉄鋼業の「勝ち筋」であり、実現するためには技術開発のさらなる加速化による革新技术の早期獲得が重要と考えられる。』</p> <p>1 点目：“欧州やアジアの各国も”とあり、先進国らしく（？）日本としてどう考えなければいけないかが記述されるのではなく、第一によその国の動向を気にしていることが問題なのである。日本における政策の出遅れがよく表されていると思う。環境問題などの問題解決のためにどうあるべきかという視点を明確に据えれば、継続的に世界をリードできる支援政策が可能になっていたことだろう。先の見えない技術であることが明らかになってきた原発への回帰政策に固執するような無茶を間違ってもやるべきではない。本当に人類全体が望み、より多くの人から指示される生活とは何なのかという視点を明確に捉えられ、しっかりと支援政策を行うべきである。まだ日本は捨てたものではないと確信していきたい。それゆえ、今まで</p>	<p>(1～3点目について)</p> <p>・ご指摘のとおり、鉄鋼産業全体のカーボンニュートラルの実現が重要であり、本プロジェクトにより開発された技術を海外に移転することと等により、世界全体のカーボンニュートラルに貢献していくべきと考えます。資金の効率的な使用や技術の長期利用についても引き続き、関係者ともよく議論したうえで効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。</p>

	<p>リードしていたはずの太陽光発電や風力発電などで後れを取ったようなことは二度としてほしくない。</p> <p>2 点目：“日本の鉄鋼業の「勝ち筋」”もいいが、勝つためではなく、どこからも認められる技術を提供し、結果として世界をリードするという開発者や研究者がやり甲斐を感じるような支援政策であってほしい。</p> <p>3 点目：総論的に言うと、技術だけでは全て OK とはならないということである。その技術を利用・使用する側(人たちが)どう感じるのかまで考える必要があるということである。原発のようにエネルギーの大きさでいえば素晴らしい技術ではあるが、処理不能な放射性廃棄物が増え続け、万が一の苛酷事故を考えれば本当に稼働を継続していいのかと悩む技術もある。技術が革新的だからどうのこうのではなく、その技術がより広く、より長く利用・使用されるのかも考える必要があるということである。経済性を考えても同じ結論になろう。そういうより広く、より長く利用・使用され、結果として経済的な技術なら開発のための支援金が多額になったとしても国民の納得が得られよう。もっと重要なことは、“より長く利用・使用される”ことが分かってから支援をしようとしても遅すぎるということである。ここにきて次々に提案されているグリーンイノベーション基金事業ですが、『遅すぎた支援ではない』とひそかに願うことしか国民には許されていないのでしょうか。そんな見つとも無い国になってほしくも、してほしくもありません。</p> <p>4点目：少し内容に入るが、CCUS への前のめり姿勢が気にかかっている。CCU については技術の向上に期待をしたいが、直接水素還元法が実用になれば製鉄業にとってそれ程の必要性がなくなるであろう。ましてや CCS については大量の CO2 を地中に埋設できない(してはいけない)と思うし、利用はかなり限定される(いずれ禁止もありうる)であろう。とにかく、世界の流れからすれば、発電業だけでなく製造業においても CCU と CCS には少なからず後ろ向きなイメージが付きまとう可能性にも議論の念頭に置いてほしい。挙句は、大気中に拡散した CO2 の回収・削減のために積極的に使用しないといけない事態になるのかもしれないのである。</p>	<p>・CCS (CCUS)については、技術確立の必要性に関することや、技術そのものの不確実性に関すること等、様々なご意見があることは認識しております。他方で、現段階では当該技術確立の成否にかかる判断が難しいことから、水素還元製鉄技術の社会実装に向け、本プロジェクトにおける技術開発の進捗状況や水素、CCUS 等必要な社会インフラの整備状況やプロジェクト間での相互連携を踏まえつつ、検討を進めることとしております。</p>
5	<p>【意見2】 p.5 に「高炉水素還元技術」と「直接水素還元技術」の2つの方法があり、両技術を並行して開発するとある。後者の「直接水素還元技術」の開発支援に重きを置いてほしい。</p> <p>(説明) 前者の高炉水素還元技術はコークスを使って鉄鉱石を還元する過程でCO2が発生するので、高炉ガスからCO2を分離回収し、回収したCO2を水素と反応させて還元剤(メタン)に転換して再利用したり、水素を直接吹き込んだりして、従来の高炉を活用するものである。p.3に2030年までに排出されるCO2の3割削減を目指すとするが、還元剤としてコークス</p>	<p>・本計画の20ページに記載のとおり、研究開発目標の達成には様々なアプローチが考えられ、また競争を促す観点からも、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則としております。また、事業化段階の切れ目等に設定しているステージゲート審査においては事業継続の検討も行うことになっております。</p>

	<p>の使用が継続する仕組みなら、CO<sub>2</sub> の削減は難しいのではなかろうか(特に CCS には限度があるはずで、地球への影響も心配な技術)。両技術を並行して開発とされているが、私は後者の直接水素還元技術に力を注ぐべきと考える。この方法は鉄鉱石を水素で直接還元する方法でコークスを使わないため CO<sub>2</sub> の排出はかなり抑えられる。ただし、水素による還元反応が吸熱なので炉内熱補償技術、不純物除去技術、電気炉の品質制御技術等の開発が必要で、極めてハードルが高いとされている。が、p.6 にもあるように「世界的に見ても未だ実用化の例は無く」、それゆえ「いち早く実現し実用化していくことが必須」とまで書かれている通りで、国としてこちらに支援の力を多く注いで実現させてほしい。2つの技術のうちどちらが歓迎されるのか、どちらがより長く利用・使用される方法かは明白であろう。前者は実現できたとしてもいずれはすたれる技術であろうし、後者の技術は実現できたら本当に多くの人から歓迎され、長く利用される技術となることでしょう。なお、p.4 に外国の例があり、2025 年までに直接還元法の実証プラントの操業を開始予定とか、2030 年までに直接還元プロセスに全て置き換える予定などが書かれている。高いハードルにもかかわらず、後者の直接水素還元技術の実現を目指しているのである。日本として本当に目指すべきはどちらなのか、メリハリをもって政策立案すべきである。十分に検討をして、あぶはち取らずの支援にならないようにしてほしい。</p> <p>追記すれば、「直接水素還元技術」は極めてハードルが高いというが、依然未完成と思われる原発に掛けた時間と資金の膨大さと比べれば、実現に必要な時間も支援のための資金もたいしたことではなく、国民の理解も得られよう。方法論的には、水素の代わりに天然ガス(主成分メタン)で直接還元鉄(固体)を作り、電気炉で溶かして精製するなど既に行われている方法らしいので、あとは天然ガスの代わりに100%水素で実現できればいいようで、まったくのゼロからの出発ではないらしい。</p>	
6	<p>・【意見3】 p.21 にある“直接水素還元技術“の開発スケジュールに、2029 年頃の実証実験の開始とあるが、これではあまりにも遅くて開発のための力が抜けてしまうのではありませんか。p.4 の外国の例も確認して下さい。また、追い打ちをかけるように、p.23 の予算では前者の高炉水素還元技術には 1354 億円が、後者の直接水素還元技術には 581 億円が予定されているが、【意見2】にも記したように、後者の直接水素還元技術に多くの予算を取ってほしい。単に実現可能なところに多くの予算を配分したという風にしか映らない。本当にどうしたいのかが見えない予算と言</p>	<p>・カーボンニュートラル社会の実現までの移行期では、高炉水素還元技術についても、比較的早期の導入可能性が見込まれる技術の活用によって CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献することも重要であると考えております。引き続き、関連プロジェクトの進捗状況や海外情勢も鑑み、関係者ともよく議論したうえで本プロジェクトの加速化に努めていきたいと考えております。</p>

	<p>えよう。それとも直接水素還元技術があまりにも早く実現したら困るのでしょうか。</p> <p>(追記:第18回会議(9/15開催)資料4より、ドイツでは2027年以降の100%水素直接還元を目指すとなり、スウェーデンでは2026年に商業生産開始を目指すとある)</p>	
7	<p>【意見4】 安価かつ大量の水素の必要性(p.3)に関わっての意見</p> <p>(説明)IEAのグリーンスチールの定義でも議論されているように、製鉄で使う水素の製造方法も定義に含まれるはずである。ここで問題になるのは「化石燃料+CCUS」で作られた水素や原発の電気や廃熱からつくられた水素などはその内に使うことができなくなる可能性である。グリーンイノベーション基金事業「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」プロジェクトなどでも書かれていたことであるが、「化石燃料+CCUS」で作られた水素や原発の電気や廃熱からつくられた水素も“あらゆる選択肢”を理由に当然のごとく利用・使用すると経産省の方々の書かれた文章には目立つ。よく考えてもらいたい。(あらゆる選択肢などと言っている内に取り返しがつかなければいいのですが)</p>	<p>・水素の供給については、ご指摘のとおり、本基金の別プロジェクトで取り組んでおりますが、国内でのクリーン水素の供給状況を踏まえつつ、日本の鉄鋼業におけるカーボンニュートラルの実現に向けた最適解を、国際連携も含めて検討を進めていきたいと考えております。</p>
8	<p>【意見5】 CCUS 技術も必要とされているが、本プロジェクトではどのくらいの量のCO2の貯留、再利用をあてにしているのか明確になっていない。また、CCUS(CCSはやってほしくない)技術はCO2の排出量を計画通りに削減できなかった場合などの大気中のCO2の回収技術として考えられるようになっており、今後は製造業などの分野での活用が制限されてくるのではなかろうか。もう少し深い検討が必要である。</p>	<p>・CCS(CCUS)については、現時点で想定できるものではなく、実施者の提案に基づき、実施者と調整しながら設定していくことを考えております。水素還元製鉄技術の社会実装に向け、本プロジェクトにおける技術開発の進捗状況や水素、CCUS等必要な社会インフラの整備状況やプロジェクト間の相互連携を踏まえつつ、関係者ともよく議論したうえで検討を進めてまいります。</p>
9	<p>【意見6】p.18で、クリーン水素(化石燃料+CCUS/カーボンリサイクル、再エネ等から製造された水素)とあるが、諸外国ではクリーン水素としては、化石燃料+CCUS、原発の電気による水の電気分解などで作られた水素を含めない傾向にある。ともかくクリーン水素のようなあいまいで定義の中身が変わりうるものは使わないに越したことは無い。それは年を追うごとにクリーン水素の中身に整合性がなくなることを意味し。混乱の元となろう(まさか、それが目的であえて使っているのではないですよね)。少なくともどちらを先に書くかと言えば“再エネ等から製造された水素”ではないのでしょうか。どちらが価値ある水素で、製造の実用化を望まれている物かは明確なはずで、いつまでもこのような姿勢でいるようでは、太陽光や風力の普及の時と同じように世界から後れを取ることになってしまうのではありませんか。</p>	<p>・水素の供給については、本基金の別プロジェクトで取り組んでおりますが、国内でのクリーン水素の供給状況やプロジェクト間の相互連携を踏まえつつ、日本の鉄鋼業におけるカーボンニュートラルの実現に向けた最適解を、国際連携も含めて検討を進めていきたいと考えております。</p>

10	<p>【意見7】 CO2 排出量の測定とかグリーンスチールの定義のIEAによる議論とかが所々で出てくるが、そこで振り回されず、当然レベルを下げる方向の発言などは行わず、100%水素直接還元による製鉄の実現につながることに努力を集中してほしい。</p>	<p>・早期の社会実装を実現するにはグリーンスチール市場の形成に向けた環境整備が不可欠であり、その取り組みの一環として定義等のIEA等国際的な場でも議論を行っております。引き続き、関係者ともよく議論したうえで効果的な研究開発の実施に努めていきたいと考えております。</p>
11	<p>【意見8】p.11で、目標設定の考え方の2の丸1と丸3の違いが分からない。というか、同じことではないのか？</p>	<p>・研究開発項目2-①、2-③はいずれも同様の考え方により目標を設定しております。実証試験については、研究開発項目2-①ではこれまでの研究成果を踏まえ、実炉の1/5規模以上のシャフト炉を用いた中規模試験を設定しており、研究開発項目2-③では高炉法を代替する規模の実炉の1/5規模以上の電気溶融炉を用いた中規模試験を想定しております。</p>
12	<p>まず述べておくと、「水素脆性」「水素脆化」の「脆」の字が一文字も無い計画案になっているようで、不安に思う。(工学的視点からは確実に重要性のある事柄と思われるのであるが、何故記述が無いのであろうか？陰謀の存在すら感じる。)</p> <p>水素については金属に脆性(水素脆性)を発生させるものであるはずであるが、鉄鋼石の還元時の事だからといって、水素を用いてよいのであろうか。</p> <p>水素が成果物である銑鉄・鋼材中に少しでも残っていると、品質的に深刻なダメージを発生させるものとなり、各所での高張力鋼等の製造が不適切化するのではないかという危惧をする。</p> <p>高炉等において、その炊き込み(炉構造体の外部からの加熱)に用いる燃料用には水素の利用が可能であるかもしれないと思われるのであるが(ただし、工場内の空気による影響が成果物に無いとは判断しきれない。また下部においての加熱の場合、炉構造体をすり抜けて炉内部の鋼材に影響を与えるかもしれないと危惧する。)、還元のために鉄鋼石に混ぜて用いるのは不適切ではないかという意見を行う。</p> <p>一般的な、強度等についてそこまで求められるものではない鉄の場合については可としても(最初から強度について全く諦められているレベルの材料。廃材回収からの再生品等を含めて、そういうものもあるであろう。)、少なくとも高張力鋼等の場合には、使わないようにすべきではないかと考えるし、その適切性はあると考えるので、そのようにされたい(日本の鋼材の品質が下がっては一大事である。それは世界にとっての悪影響をも発生させるものと考え。)。 (ただし、電気炉・電気溶解炉などにおいての、スクラップ等を利用しての製鉄の場合においては、水素利用も可と思われる。)</p>	<p>ご指摘いただきました通り、水素還元製鉄において、鉄鋼製品の品質を維持することは重要であると認識しております。水素は凝固の過程で急速に放出されることに加え、必要に応じて脱ガス処理を実施するため、水素還元製鉄プロセスにおいても、鉄の水素含有量に起因する問題は生じないと考えております。</p>

少なくとも、国内において、水素による鉄鋼石の完全を行う製鉄所と、そうでない製鉄所については分け（※1）、高張力鋼等を製造している製鉄所においては水素還元は行われないようにしていただきたい。（なお、市場に流通させる時には、水素還元が行われている鉄については、その旨を示すようにするのが適切と考える。課税や補助金などの制度を関係させればその様にされるかと思われるが、市場はそれが分かる事を強く強く求めるはずである。水素は忌避されるものであり、その使用は明示があるべきであると考え。）

（品質について、コークスによる還元を行ったものと水素による還元を行ったものについて、全く同等なのであればよいのであるが、しかし、化学物質の常として、何らかの痕跡は残ってしまうのではないかとと思われる。ほんのごく少しの残存水素でも、高張力鋼等では致命的な問題を発生させうと思われるので（非常に高精度の鋼材にポロボロと水素による欠陥が発生してくるなどという事態は深刻に問題であろう。）、国は、我が国の高付加価値の高張力鋼等の性質について保護するために、意を用いていただきたい（ヴァージン材の品質は特に守るべきと考える。）（なお、そのような特段の高付加価値があるわけではない鉄材で、しかもあまり耐久性について高い程度が求められないものについては、水素利用も不可能ではないと思われる。しかし、慎重であるべきと考える。）。）

意見は以上である。