

【日本機械工業連合会会長賞】

運転時 CO₂ 排出ゼロの水素燃料貫流蒸気ボイラ (SI-2000-H2)

三浦工業株式会社
愛媛県松山市

1. 機器の概要

水素は燃焼時の生成物が水のみであることから、CO₂ 排出ゼロのクリーンエネルギーとして注目されている。2050 年の温暖化ガス排出量実質ゼロを目指す脱炭素社会の実現に向けて、水素は重要なエネルギーと位置付けられており、様々な分野での水素利活用が期待されている。その一翼を担う機器として、広く産業用熱源として利用されている貫流ボイラでの水素利用について開発を行い、日本で初めて 100%水素燃焼（水素専焼）が可能な貫流ボイラを商品化した。

水素は様々な 1 次エネルギーから製造することが可能であり、特にソーダ業界や石油化学業界では製品製造における副生ガスとして水素が発生する。これらの副生水素をボイラ燃料に利用することで、既存燃料（化石燃料）の使用を削減することが可能となり、合わせて CO₂ 排出量も大幅に削減できる。また、将来的には脱炭素の観点から CO₂ フリーな水素（再生可能エネルギーからの水素製造など）の利用が増えると考えられ、脱炭素時代の熱源として水素燃料ボイラの需要が高まってくると考えている。



図 1 水素燃料貫流蒸気ボイラ

2. 機器の技術的特徴および効果

2.1 技術的特徴

貫流ボイラを水素燃料に対応させるため、以下に示す2つの課題を解決し商品化した。

(1) 水素を燃焼させられるバーナの開発

水素は非常に燃えやすく、燃焼速度の速い気体であるため、燃焼に際してはその特徴を踏まえたバーナ開発が必要となる。特に水素の燃焼では火炎温度が高いため、バーナの材質を見直すとともにNO_xへの対策を行った。空気中の窒素などが燃焼中に酸化されてNO_xとなる現象（サーマルNO_x）は火炎温度が高いほど反応が進む。水素燃焼ではこのサーマルNO_xが増加する傾向にあることから、水素燃料ボイラでは燃焼排ガスを炉内に再循環させるEGRと言う手法を用いてNO_xを減少させ、大気汚染防止法（150ppm未満：O₂=5%）をクリアした。

(2) 水素を安全に取り扱うための安全装置の搭載

上記のような水素の燃焼特性から、水素の取り扱いについては十分な配慮が必要となるが、水素燃料についてはまだ法的に明確な安全基準が定められていない。（水素ガスの取り扱いとしては都市ガスやLPGなどの一般ガスと変わらない。）

このため、水素を取り扱っている様々な業界の指針などを参考に、独自に安全装置の取り付けを検討した。

＜波板式フレームアレスタ（逆火防止器）を採用＞

水素は燃焼速度が速く、燃料配管中を火炎が戻る逆火現象が懸念される。水素燃料ボイラではこの逆火現象を防止する装置を燃料配管中に取り付けて、火炎が戻らない構造としている。この装置はフレームアレスタと呼ばれ、火炎の防止構造によっていくつかのタイプがあるが、本製品では最も防止性能の高い波板式（クリン

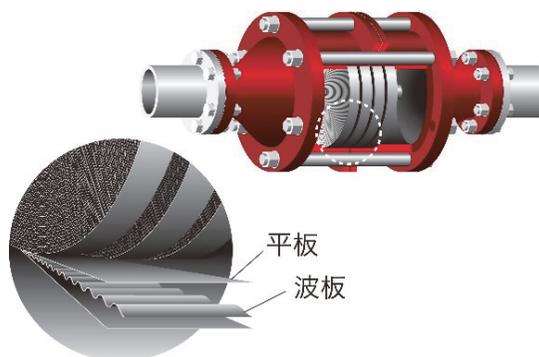


図2 フレームアレスタ

プリボン式) のものを採用して、安全性を高めている。この波板式のタイプは、**図 2** に示すように金属の波板と平板を組み合わせた構造となっており、流路面積が非常に狭く、火炎が通過する際に金属に熱を奪われて失火する仕組みとなっている。本製品ではこの波板式のフレームアレスタで欧州防爆指定 ATEX94/9/EC および EN128741 に適合する認定品を採用している。

< 残留水素の窒素パージ >

水素は空気との可燃範囲が広く、少量の空気でも燃焼が可能のため、水素配管中への空気の流入に注意する必要がある。しかし、ボイラが燃焼を停止した際には、どうしても水素配管中に一部残留水素が生じてしまい、炉内や給気口からの空気流入により水素が可燃混合気となる可能性がある。この配管中の残留水素を不活性ガスである窒素でパージする機能を安全制御として組み込んでいる。**図 3** に示すように、燃焼停止時には燃料遮断弁 2 次側に水素が残留するため、この位置に窒素供給ラインを設け、燃焼停止時に窒素を流すことで残留水素のパージを行う。なお、水素配管中の燃料遮断弁はなるべくバーナに近い位置に設け、パージする水素量が極力少なくなるように配管設計を行っている。

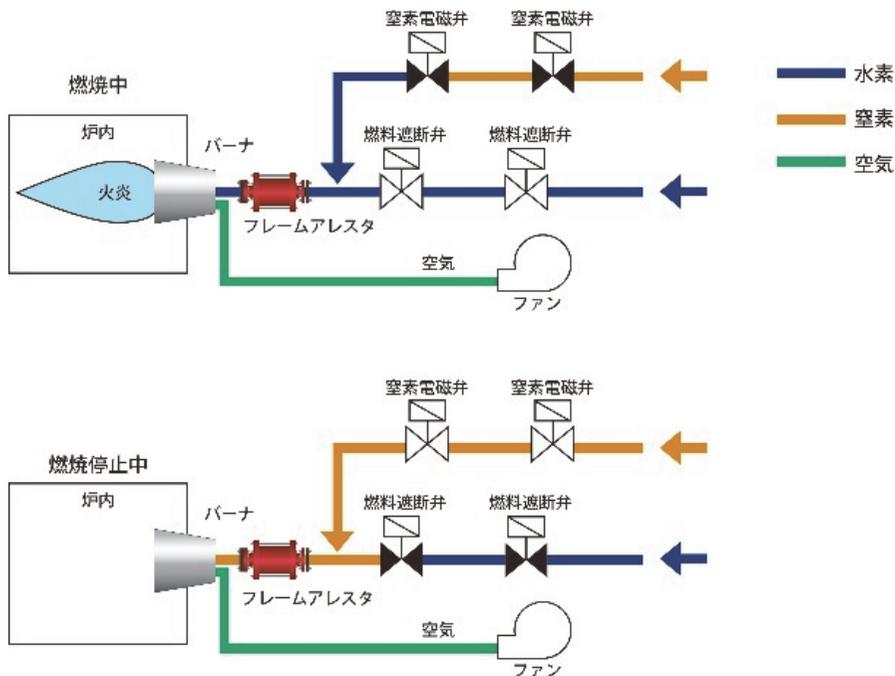


図 3 窒素パージ機能

2.2 効果

水素は燃焼時の生成物が水のみであることから CO₂ 排出はゼロとなる。化石燃料から水素に切り替えた場合、それまで排出していた CO₂ 量がそのまま削減量となるため、削減率は 100% となり、水素燃料ボイラの CO₂ 排出抑制効果は極めて大きい。仮に蒸気量 2t/h の A 重油焚きのボイラから水素ボイラに切り替えた場合の CO₂ 排出量削減量は年間 2,105 トンとなる。

【試算条件】

(A 重油の低位発熱量：36.7 MJ/L、水素の低位発熱量：10.77 MJ/Nm³、ボイラ効率：95%、年間稼働時間：6000hr、A 重油の CO₂ 排出量算定係数：2.71 t-CO₂/kL)

3. 用途

水素は様々な 1 次エネルギーから製造できるため、化石燃料よりも地政学的リスクが低く、幅広い地域での活用が見込まれている。図 4 に示すように、現在では①化学製品の製造過程で副生する水素や②化石燃料からの水蒸気改質による製造などが主流であるが、将来的には③再生可能エネルギーの電気からの水電解による製造、もしくは上記の水蒸気改質と CCS 技術 (CO₂ 貯蔵技術) を組み合わせた製造により CO₂ を排出しない水素製造も期待されており、本製品の活用によって産業熱の脱炭素化を促進できると考えている。

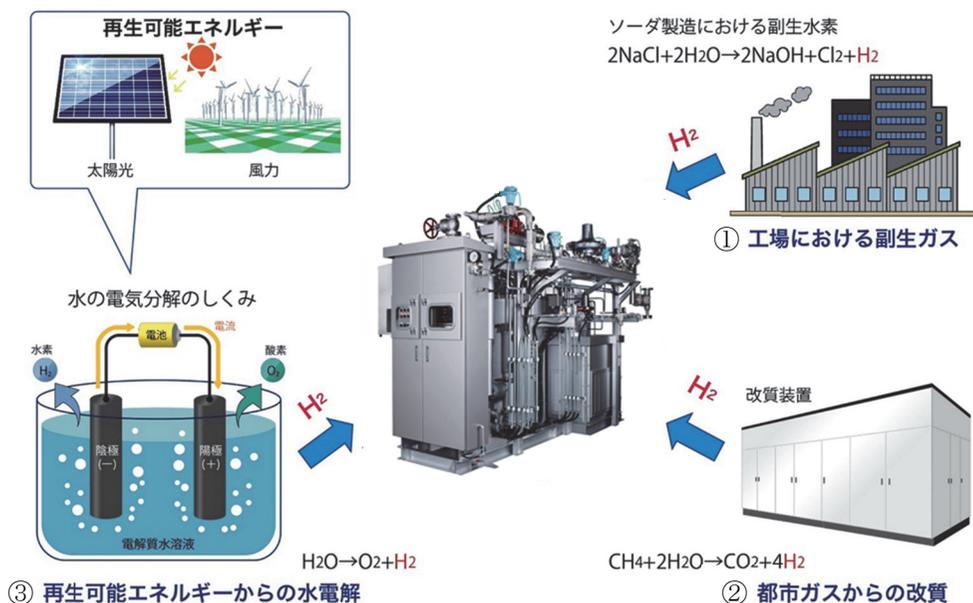


図 4 水素の供給例