

Hydro H₂eat(ハイドロヒート)の開発 ～温風ヒーターへの水素燃料の利用～

長谷川 修磨・今田 雄司

HASEGAWA Shuma, KONTA Yuji

日工株式会社 開発部 開発1課

概要

世界の平均気温は産業革命前と比べて約1.1℃上昇している。2015年にパリ協定が採択され、日本は2050年にカーボンニュートラル実現を目指す表明をしている。そして、次世代エネルギーとして注目される水素の社会実装に対して、法の制定など様々な取り組みが進められている。とりわけ、道路舗装業界においても水素を燃料として使用できるバーナの開発が待ち望まれている。当社は、東京ガス株式会社と共同で水素バーナの開発に着手し、2023年3月には出力500kW級の水素バーナを完成させている¹⁾。さらに、これらの習得した水素燃焼技術をアスファルトプラント(以下、APと記述)以外の分野への展開として、水素ジェットヒーターの開発に着手している。本稿では、開発した水素ジェットヒーター試作機を用いて行った寒冷地での実証実験について報告する。

1. 緒言

18世紀後半の産業革命以降、人類は化石燃料を大量に消費しながら熱や電気エネルギーの恩恵を受けてきた。その結果、世界の平均気温は2020年時点で、産業革命前と比べ、既に約1.1℃上昇しており、このままの状況が続けば、更なる気温上昇が予測される。気候変動と気象災害の関係は明確ではないが、気候変動に伴い、豪雨や猛暑、南極海水減少のリスクが更に高まることが予想される。

この状況を受け、2015年にパリ協定が第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で採択され、世界各国がカーボンニュートラルに向けて取り組みを進めている²⁾。その最中、2025年1月20日にドナルド・トランプ氏がアメリカ第47代大統領に就任し、世界第2位の温室効果ガスの排出国であるアメリカはパリ協定からの脱退を表明した。今後、化石燃料産業の規制緩和や石油・天然ガスの生産拡大が見込まれ、地球温暖化対策は滞ると思われる。このように、温暖化の抑制に対して排出量上位の米国が不在の状況になるが、地球全体での温室効果ガス排出抑制への取り組みは継続して高い意識の状態で維持して行く必要がある。そのため、日本は2050年ネットゼロに向けた脱炭素と経済成長との同時実現を目指した取り組みを、国を挙げて進めている。

企業としては、ネットゼロを目指す上でサプライチェーンの温室効果ガス排出量の指標として「スコープ1・2・3」がある。スコープ1・2は自社の活動を通じて排出している温室効果ガスを対象としている。そして、スコープ3は原材料仕入れから販売後に排出される温室効果ガスを対象としている。スコープ1・2への対策はもちろんのこと、スコープ3に対する改善を行う必要があり、製品開発を行う上では「項目11:販売した製品の使

用」に対する対策までを行うことが責務となる。

ネットゼロの実現に向けて、次世代エネルギー資源として水素が注目されている。水素は、酸素と反応することで電気エネルギーまたは熱エネルギーを取り出すことが可能で、その際にCO₂を排出しない特徴を有している。また、水素は電気分解により、水から生成することが一般的に知られるが、化石燃料やメタノール、下水汚泥、廃プラスチックなど、さまざまな資源や廃棄物からも生成することができ、方法によってはカーボンフリーなエネルギーとなる。

このような状況を踏まえて、当社はこれまで使用されてきた化石燃料の代替燃料として、期待されている水素燃料を使用できるバーナの開発を行っている。APへの水素バーナの導入は水素インフラとのバランスを合わせて進めることが合理的であると言える。そのため、現状で運搬可能な水素インフラ設備として圧縮水素や液化水素が挙げられるが、より身近に使用できるものとしては圧縮水素が実用的である。圧縮水素での現実的な運用が可能な製品として、温風ヒーターは需要があると考えられ、特に需要が高いであろう北海道には家畜ふん尿から水素を製造する施設があり、水素への取り組みが盛んに行われている。中でも、冬期の建設現場で必需品ともいえるジェットヒーター(温風ヒーターの1種)は、防寒やコンクリート養生時の凍結による品質低下を防ぐために使用されている。そして、水素燃料を利用した場合、CO₂やCOを発生させないため利用者の安全性の向上にも貢献できると考え、水素ジェットヒーターの開発に踏み切った³⁾。

本試験では、開発した水素ジェットヒーター(商標名:ハイドロヒート)の用途として、従来機と同様に寒冷地におけるコンクリート養生テント内で運用が可能かの確認を行った。水素の燃

焼により発生する水蒸気が、テント内の湿度に影響を与えることが考えられる。そのため、従来から使用している灯油ジェットヒーターを同条件で設置し、テント内の温度や湿度の変化を確認した。ジェットヒーターがもっとも稼働率が高くなる極寒の時期にテスト期間を設け、水素ジェットヒーターを寒冷地での実運用を模擬した試験を実施した³⁾。

本稿では、開発した水素ジェットヒーター試作機の特徴と試作機を用いた寒冷地での実証試験について報告する。

2. 水素ジェットヒーター

「Hydro H₂eat(ハイドロヒート)」の開発

2.1 水素燃焼技術の開発

道路舗装業界においても温室効果ガス排出量の削減に積極的に取り組んでいる。APにおいて発生しているCO₂の約8割が、化石燃料の燃焼によるものであり、最もバーナを用いた骨材の乾燥加熱で発生している。そのため、次世代エネルギーである水素を燃料として使用できるバーナの開発に着手し、2050年にはAPで水素専焼を実現できるようにバーナ開発を進めている。

水素をバーナの燃料として活用した場合に、カーボンニュートラルを実現できるメリットはあるが、重油や都市ガスと比較すると次のような懸念事項が考えられる³⁾。

- ①燃焼速度がメタンと比較すると約6.6倍速いため⁵⁾、バックファイアを起こす可能性が高い。
- ②局所的に燃焼温度が非常に高温になることがあるため、サーマルNO_x(窒素酸化物)の生成量が多くなる。
- ③バーナ近傍での熱負荷が高くなるため、バーナや燃焼室などの燃焼機器に熱的損傷を与えるおそれがある。

これらの懸念事項を考慮し、バーナでの水素燃焼試験を行った。AP用の500kW加熱バーナを用いて水素を燃焼させることで、想定される熱出力が得られることを確認し、生成するNO_x濃度と各種パラメータとの相関関係を明らかにした。500kW級の水素バーナは東京ガス株式会社と2023年に共同で開発を完了した⁴⁾。この水素バーナを小型APに設置してアスファルト混合物製造試験を行い、懸念された水素の燃焼における水蒸気が及ぼすプラントへの影響とアスファルト混合物の品質において、当社従来のガスバーナと同様の運用ができることを確認した¹⁾。

2.2 Hydro H₂eat(ハイドロヒート)試作機

加熱用バーナの熱風温度は1000℃以上を求められるが、温風ヒーターの場合にはストーブの様に、気温より20～30℃程度上昇した温風が求められる。

500kW水素バーナで習得した技術を用いて、水素を燃料とするジェットヒーター「Hydro H₂eat(ハイドロヒート)」の開発を行っている。開発したハイドロヒート試作機を写真1に示す。

そして、ハイドロヒートでの温風発生方法は、燃焼ガスと冷気をミックスチャンバー内で混合する構造となっている。



写真-1 ハイドロヒート試験機



写真-2 実証試験の様子(陸別町)

3. ハイドロヒート燃焼試験

3.1 試験条件

ハイドロヒートの実用性や操作性の確認に加えて、寒冷地での耐久テストを兼ねて試験するため、日本で一番寒いまちとも言われる最低気温がマイナス30℃以下になることもある陸別町⁶⁾の山間部と、幕別町の川辺の2か所で実証試験を行った。陸別町は車やエアコンなどの寒冷地試験が行われている。写真2に陸別町での実証試験の様子を示す。

ジェットヒーターが多く使用される寒冷地でのコンクリート養生現場を想定し、それぞれの防寒囲いの中でハイドロヒートと、灯油を燃料とする従来ジェットヒーターを24時間稼働させて運転状況を比較した。今回の試験では、防寒囲い内の温度15℃程度に保つために、ハイドロヒートはマスフローコントローラで水素の燃焼量の調整を行い、一定出力の従来機はサーモスタットを用いて機器をON-OFF制御することで灯油の燃焼量を制御して運転を行った。

3.2 試験設備

3.2.1 防寒囲い

図1に試験に使用した防寒囲いの外形図を示す。北海道開発局の令和6年度北海道開発局道路設計要領から寒中コンクリートについて日平均気温が4℃以下になることが予想される場合には、寒中コンクリートとしての施工を行わなければならない⁷⁾と規定がある。そして、厳しい気象作用を受けるコンクリートは、初期凍害を防止できる強度が得られるまで、コンクリートの温度を5℃以上に保ち、さらに2日間は0℃以上に保つことを標準としている。そのため、防寒囲い内の温度を一定期間5℃以上に保つ必要がある⁷⁾。実際に寒冷地で行っている寒中コンクリート施工は写真2のような防寒囲いで施工箇所を覆い、養生を行う際にジェットヒーターを用いて囲い内温度を一定に保っている。

3.2.2 ハイドロヒート水素供給ライン

今回の試験では、水素カードル(ポンペをまとめて枠組みし、ガスの取り出し口を集約したもの)を用いて水素の供給を行った。水素カードルから19.6 MPaの水素が供給され、減圧弁により0.2 MPaまで減圧した水素を燃焼装置に供給した。ハイドロヒートに高圧のまま水素を供給すると機器の損傷や急激な圧力変動で失火などの要因となるため、減圧してから燃焼装置に供給している¹⁾。

3.3 試験測定項目

本試験では、外気温と囲い内の温度、湿度の測定に加え、ハイドロヒート側のみ安全のため、囲い内の水素濃度を常時監視した。

図2に防寒囲い内における各種測定位置とハイドロヒートの設置位置を示す。換気口は防寒囲い天井に用意した。

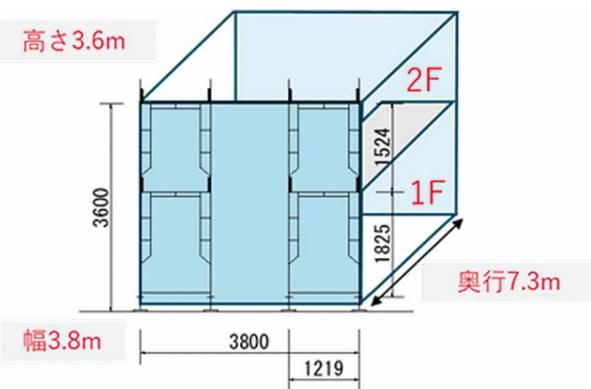


図1 防寒囲い外形図³⁾

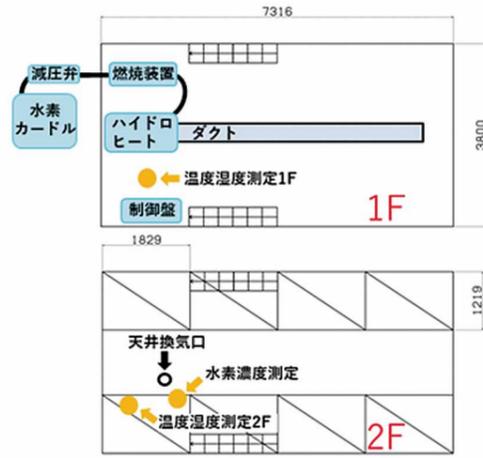


図2 ハイドロヒート機器設置、測定箇所

3.4 試験結果

3.4.1 囲い内温度測定結果

陸別町の試験では、外気温と灯油ジェットヒーター囲い内温度、ハイドロヒート囲い内温度を測定した。その結果を図3・4に示す。2024年2月に行った陸別町での試験日は外気温が最高温度-0.2℃、最低気温-22℃を記録し、日中との寒暖差が20℃以上あった³⁾。

図3に示す陸別町で測定した灯油ジェットヒーター囲い内の温度グラフで高低差が短時間で大きくなっている。これは、サーモスタットを用いて灯油ジェットヒーターをON-OFF制御で着火と消火のインターバルを変えることで自動的に温度を一定範囲に保持しているためである。ただし、温度の制御幅を小さくすると、頻繁にON-OFFを繰り返すことになる。対して、ハイドロヒートは出力の調整により温風温度の調整が容易にできるため、図4に示すように、灯油ジェットヒーターと比べ、急激な温度変化を起こすことなく連続運転ができた。しかし、水素流量がマスフローコントローラによる手動操作であるために、自動での温度制御ができない。そのため、防寒囲いテントは外部の気温変化の影響を受けるため、日中は可能な限り流量を下げたが囲い内温度が高くなった。今回の試験でハイドロヒートは、灯油ジェットヒーターの囲い内温度制御域内で囲い内温度を維持することができた。測定温度は幕別町でも同様の傾向が見られた³⁾。

3.4.2 囲い内湿度測定結果

図5にハイドロヒートと灯油ジェットヒーターの囲い内容積絶対湿度の結果を示す。ハイドロヒートと灯油ジェットヒーターの囲い内温度に大きく差はないが、絶対湿度は3~4g/m³程度ハイドロヒート囲い内が高い値となった。写真3に示すようにハイドロヒート囲い内で目視確認でも明らかに多く結露した水が確認できた。これは、水素は燃焼すると水のみが発生するため、灯油と比べて排ガス中の水分量に大きな違いがあり、壁面の結露水の量が大きく異なると考えられる。

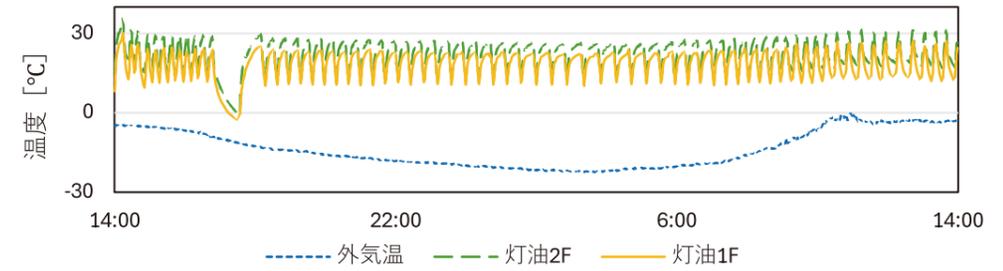


図3 灯油ジェットヒーター囲い内温度(陸別町)

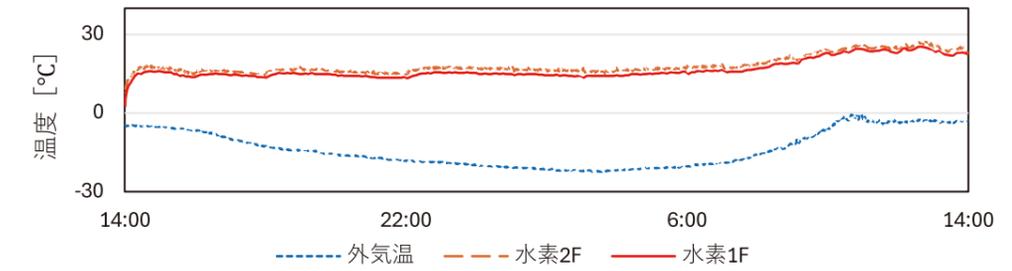


図4 ハイドロヒート囲い内温度(陸別町)

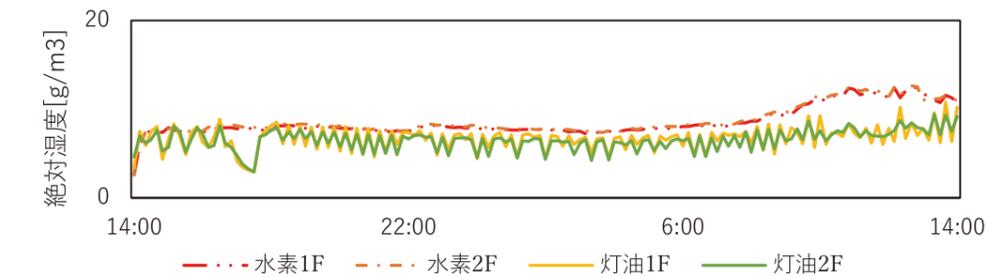


図5 囲い内湿度(陸別町)

結果より、ハイドロヒートはテント内を高い湿度に保つことができるため、コンクリートの表面の急激な乾燥が防げることから、コンクリート養生時に好条件の環境が作り出せると考えられる³⁾。

3.4.3 燃料使用量に関する試算結果

今回の実証試験での灯油ジェットヒーターのCO₂排出量は陸別町試験:115.8kg、幕別町試験:91.4kgとなった。ハイド

ロヒートは燃焼によりCO₂を排出していないため、カーボンニュートラル水素を使用する場合にはCO₂排出量を削減することが出来る。

表1に試験での燃料使用量を示す。燃料から得た熱量は、灯油ジェットヒーターは1605MJ、ハイドロヒートは1389MJであった。ハイドロヒートの総熱量が少なくなった考察として、下記の点が挙げられる。

1) 囲い内温度

図3と図4の囲い内温度グラフから、灯油ジェットヒーターの方が総じて高い温度を推移しており、ON-OFF制御と常時運転による流量制御の違いから灯油ジェットヒーターの燃焼量が増加したと考えられる。

2) 燃焼効率

囲い内臭気から、着火と消火を繰り返す灯油ジェットヒーターから灯油の未燃分による臭気(アセトアルデヒド臭)が発生していると考えられ、完全燃焼を行えていないと推測される。ハイドロヒートは囲い内水素濃度が常時0ppmを示しており、高い効率で燃焼していると考えられる。

3) 壁面の凝縮水

ハイドロヒートの方が壁面への凝縮水が多いことから、凝縮潜熱に囲い内温度への寄与の可能性が考えられる。



写真3 ハイドロヒート囲い内壁面

現状、灯油に対してグレー水素は熱量あたり約10倍、グレー水素に対してカーボンニュートラル水素は熱量あたり約4倍の価格差がある。この価格差により運用の安定を確保しても水素燃料が現状優位になることはないと言える。水素の燃料利用に対する政府・行政の支援などが、今後どのように推進されるか注目していく必要がある³⁾。

表1 燃料使用量

燃料 (試験場)	使用量	総熱量	CO ₂ 排出量
灯油 (陸別)	46.5 L	1605 MJ	115.8 kg
水素 (陸別)	129 m ³	1389 MJ	0 kg

4. ハイドロヒートの特徴

従来の灯油ジェットヒーターとは異なり、開発した水素燃料を使用するハイドロヒートの特徴は下記の点が挙げられる³⁾。

- ① 燃焼排ガスの水蒸気により高湿度環境を維持。急激な乾燥を緩和するため、コンクリート養生などの急に乾燥した時に問題になるものにおいては好条件の環境を作り出せる。
- ② 燃焼排ガスが無臭である。生成する排ガスが水蒸気のみのため無臭であり、異臭での不快感などがなく、暖房空間の快適性が向上する。
- ③ 環境への負荷低減。灯油などの液体燃料とは違い、燃料の漏洩による河川、土壌などへの環境汚染への懸念がない。
- ④ 温室効果ガス排出量の削減。燃焼によりCO₂が発生しないため、カーボンニュートラルを実現することができる。
- ⑤ 排出ガスの安全性の向上。囲い内で採暖しながらの作業中に一酸化炭素中毒の危険性が無く安全性が向上する。

5. ハイドロヒートの改良

今回実施した寒冷地実証試験からハイドロヒート試作機の移動や設置、操作等の運用のしやすさに対する面から課題が見られた。試験に用いたハイドロヒート試作機を稼働させる



写真4 ハイドロヒート改良機

ためには、ハイドロヒート本体のほかに、制御装置、燃焼装置等が必要になる。そのため、機器設置スペースが必要なこと、重量があり設置に労力を要するため利便性が悪いことなどを改善する必要があると明確になった。

その後、試作機から再設計を行った改良機を写真4に示す。本体、燃焼装置、制御装置の一体化を行い、試作機と比べて小型・軽量化に成功した。

6. 結言

今回実施した寒冷地実証試験結果から、ハイドロヒート試作機は従来の灯油ジェットヒーターと同様に防寒囲い内の温度維持は行えることが確認できた。また、寒冷地特有の水が多く発生することによる結露や凍結問題の懸念もあったが、コンクリート養生テント内では問題ないことが確認できた。ハイドロヒートでカーボンニュートラル水素を使用すると温室効果ガスの削減ができるが、運用面での課題も見えてきた。試作機から改良機の開発を行い、機器の重量やサイズの縮小を可能とした。今後、製品化に向けて使い勝手や耐久性の改良を行う予定である。

そして、水素燃料の価格は灯油などの化石燃料と比べて、現状高価であるが2030年、2050年に向けて水素が利用し易くなるように支援、補助金などの体制づくりがされはじめている。カーボンニュートラルとネットゼロまでを踏まえて製品開発をおこない、水素社会の実現に貢献するため、ハイドロヒートの早期実用化を目指し、水素エネルギーの利用拡大を促進していく。

References

- 1) 長谷川 修磨,北野 裕樹,今田 雄司. 水素バーナの開発～Phase2 アスファルト混合物製造試験～, NIKKO TECHNICAL REPORT 2024, No.005,pp.45-50.
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁 “第1節 温暖化をめぐる動き” <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/1-3-1.html> (参照日2025年1月30日)
- 3) 長谷川 修磨,今田 雄司,稲船 晃. ジェットヒーターへの水素燃料利用,クリーンエネルギー 2024,第33巻,第7号, pp.5-9
- 4) 北野 裕樹,今田 雄司. 水素バーナの開発～Phase 1～,NIKKO TECHNICAL REPORT 2023, No.004,pp.39-44.
- 5) 井上 雅弘. 水素の安全利用,電気設備学会誌,

6) 北海道 陸別町 “陸別町を知る”

<https://www.rikubetsu.jp/iju/shiru/>
(参照日2025年1月30日)

7) 国土交通省北海道開発局 令和6年度

北海道開発局 道路設計要領 “寒中コンクリート”
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_ken/ud49g70000001tos-att/splaat0000003wap.pdf
(参照日2025年1月30日)

筆者紹介



HASEGAWA Shuma
長谷川 修磨
2022年入社
開発部
開発1課



KONTA Yuji
今田 雄司
2002年入社
開発部
開発1課