

機能性ポーラス体の冷却技術への応用

1. はじめに

ポーラス体は「非常に多くの細孔を有する材料」と定義されるが、その特徴である表面積の大きさや毛細管作用、特異な反応・輸送現象を利用し多くの工学分野で活用されている。とくに伝熱工学分野では、電子機器の冷却で多用されるヒートパイプやベイパーチャンバー、^{みくし}輻射変換体、^{てん}充填層、さらに燃料電池の電極周辺技術など、現在でも盛んに研究が実施されている。一方、単にポーラス体といっても、**図1**に示すようにその構造は多様であり、気孔径や気孔率などの構造だけでなく、透過性能、有効熱伝導率等の熱的特性、さらに熱流束レベルを十分に理解した利用が重要となる。たとえばポーラス体による対流熱伝達促進と圧力損失増大はトレードオフの関係にあるため、下手に適用すると伝熱促進率以上のポンプ動力の増大を招くことになる。本稿では、筆者がこれまで取り組んできた機能性ポーラス体による冷却技術と今後の展望について紹介する。

2. サブチャンネル装荷型ポーラス体

核融合炉ダイバータでは定常的に $10\text{MW}/\text{m}^2$ 程度の除熱を達成する必要がある。また、製鉄CCモールドや加速器BNCTにおけるリチウムターゲットにおいても $5\text{MW}/\text{m}^2$ を超える除熱を達成する必要がある。このような高い熱流束環境では、トータルのエネルギー利用効率を考慮し、蒸発潜熱を応用した低ポンプ動力による冷却技術を開発することが望ましい。しかしながらポーラス体内での激しい沸騰・蒸発現象は、完全に乾いた蒸気の大量生成を招くことになり、いわゆる、熱抵抗層がポーラス体内で発達し伝熱性能が劣化するという短所を有している。相変化領域への液供給とポーラス体外への蒸気排出を両立するため、**図2**に示すような蒸気排出用のサブチャンネルを装荷したポーラス体を開発した。これにより少ない液流量で最大 $25\text{MW}/\text{m}^2$ の除熱に成功している⁽¹⁾。

3. ナノ粒子バイポーラス構造体

次世代のパワー半導体材料として期待されているSiCの実用化のために

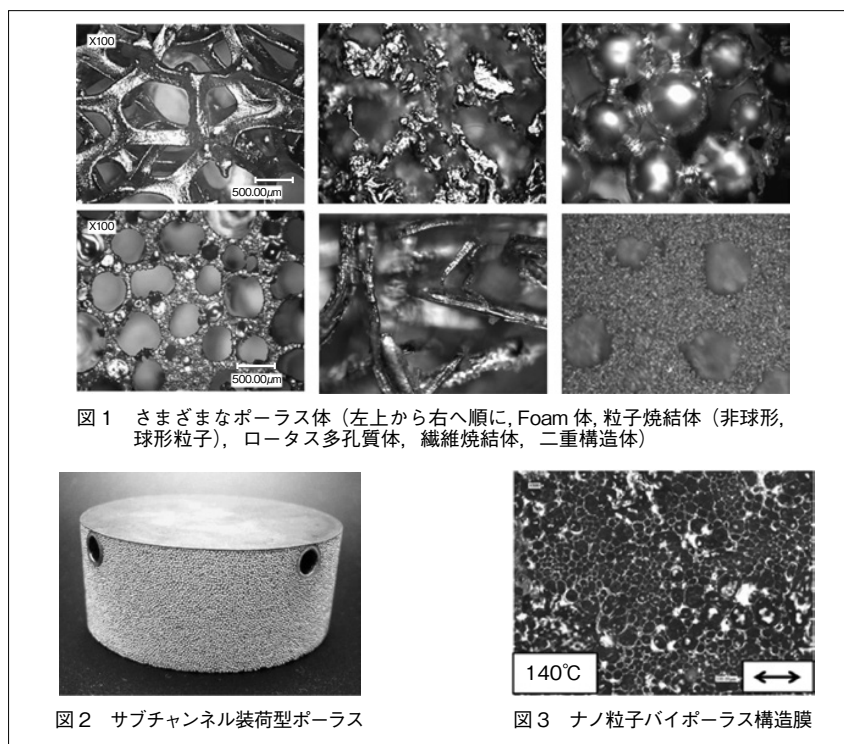


図1 さまざまなポーラス体 (左上から右へ順に, Foam 体, 粒子焼結体 (非球形, 球形粒子), ロータス多孔質体, 繊維焼結体, 二重構造体)



図2 サブチャンネル装荷型ポーラス

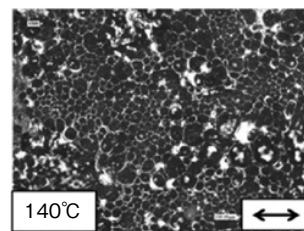


図3 ナノ粒子バイポーラス構造膜

は、デバイスからの放熱を制御し、SiCの動作温度を最適温度(200°C以上)に確保する必要がある。とくに次代の低炭素化社会を担う電気自動車や燃料電池車の車載用インバータでは、最大 $3\text{MW}/\text{m}^2$ の発熱密度となることも予想されている。エンジン冷却水の共用を期待できないため浸漬環境における冷却技術・熱輸送システムを開発することが望ましく、平滑面飽和プールの沸騰の限界熱流束を格段に上昇させる必要がある。筆者はプール沸騰において $3\text{MW}/\text{m}^2$ を超えるCHFを達成する伝熱面を作製するため、ナノ粒子の集積によって発現する強い濡れ性と毛細管現象に注目し、ナノ粒子の集積によって形成されるナノスケール孔とマイクロスケールの孔が混在するナノ粒子バイポーラス体(**図3**)による沸騰伝熱促進技術を提案している⁽²⁾。通常、ナノスケールの孔はキャビティとして機能しないため、マイクロスケール孔はキャビティとしても機能する。高温面上への液滴落下実験から、アルミナ粒子を施工した面上では、ライデンプロスト現象を起こすような170°Cを超える高温面でも液滴を瞬間的に蒸発させることに成功し、限界熱流束の

向上の可能性を指摘している。今後、プール沸騰系での評価、ならびにヒートパイプなどの熱輸送機器へも展開する予定である。

4. おわりに

以上のように、近年のポーラス体を応用した伝熱研究では、ポーラス内部で発生するさまざまな現象の一長一短を機能的に分離したポーラス体の開発が新たなブレイクスルーへ繋がると期待されている。本稿で紹介した二つのポーラス体以外にもさまざまなポーラス伝熱研究に取り組んでおり(傾斜機能ポーラス体、1方向性ポーラス体など)、サポートをいただく多くの研究者・企業に本誌面を利用して感謝の意を表す。

(原稿受付 2014年10月1日)

[結城和久 山口東京理科大学]

●文献

- (1) Yuki, K., ほか, Divertor Cooling with Sub-Channels-Inserted Metal Porous Media, *Fusion Science and Technology*, 64-2 (2013), 325-330.
- (2) Yuki, K., ほか, Application of Nanoparticles-Assembled Bi-Porous Structures to Power Electronics Cooling, *Proc. of the 5th Inter. Conf. on Porous Media and its Applications in Science and Engineering*, (2014-1).