

CNF 添加量によるスラリーアイス中の氷粒子分散の検討

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 甘中 海翔

1. 緒論

運動時において深部体温と運動パフォーマンスは相互関係にあり、運動前にあらかじめ深部体温を低下させる手法であるプレクーリングが注目されている。プレクーリングを行うことにより、運動継続時間を延長することが可能となる⁽¹⁾。また、年平均気温が上昇しており⁽²⁾、対策の必要性が高まっている。このことから、スポーツ飲料から生成されたスラリーアイスを用いて、体内に取り込むことができると、冷水などに比べより効率的な深部体温の低下が可能となり、運動パフォーマンスの向上や熱中症対策が可能となる。スラリーアイスを用いる場合、嚥下の容易さおよび冷却効果の即効性が重要な要素である。しかし、スラリーアイス中の氷粒子が凝集することで、流動性が低下し嚥下が難しくなる。また、氷粒子が一樣に分散することで、飲用時に体内において氷粒子との接触面積が増加し、冷却能力の向上が考えられる。したがって、製氷前の水溶液に CNF を添加することでスラリーアイス中の氷粒子分散を図った。本研究では、CNF 濃度における分散の経時変化を計測し、スラリーアイス生成に適する水溶液の組成を調べることにした。

2. スラリーアイス生成装置

本研究では、本研究室で試作した図 1 に示すワンバッチ式スラリーアイス生成装置を用いる。ジェネレーター下部には 3D プリンタパーツが用いられている。

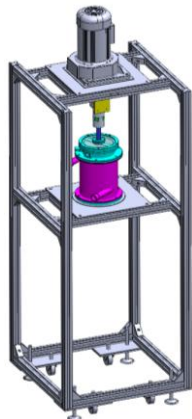


Fig.1 Batch-type slurry ice generator

3. スラリーアイス生成装置構成部品の変更および評価

3.1 目的

本研究の過程において 3D プリンタパーツの防水加工の剥離が確認されたため、防水性能を施すとともに、長期間の使用においても防水加工の剥離が生じないように、防水加工法を塗布から真空含浸法への変更を行った。

3.2 真空含浸法による防水加工方法

容器にウレタンニス500mlおよび 3D プリンタパーツを投

入し、真空低温乾燥機へ設置した。真空乾燥機内を20°C、ゲージ圧-90kPaとなるよう設定した。運転開始後、ゲージ圧-90kPaに到達した時点でバルブを開放し、内部を大気圧状態に戻すことで圧力差を利用し、ウレタンニスを 3D プリンタパーツ内へ浸透させた。この工程を 5 回繰り返して、取り出し後 1 日乾燥させることで防水加工を行った。

Table1 Waterproofing conditions

Chamber temperature(°C)	20
Gauge pressure(kPa)	-90



Fig.2 Waterproofed component

3.3 防水効果の検証

容器に市水500mlを加え、真空含浸法による防水加工を施したパーツおよび防水加工を施していないパーツをそれぞれ投入し30分間静置した。その後水に浸す前後での各パーツの質量を比較し、防水効果の有効性を検証した。防水効果を施したパーツの質量差は無かった。一方、防水効果を施していないパーツの質量差は16gとなったため、真空含浸法による防水加工は有効であることが確認された。

4. CNF 添加量による氷粒子分散の検討

4.1 氷粒子分散の定量的評価

スラリーアイス中の氷粒子が一樣に分散している場合、氷粒子と水溶液が混合し、容器内に存在していることとなり、液相のみではほとんど存在しない。一方スラリーアイス中の氷粒子の分散が浮力等の影響で不十分である場合、氷粒子の凝集が発生して、液相が形成される。このことから、液相の高さをパラメータにすることでスラリーアイス中の氷粒子分散を定量的に評価した。

4.2 液相の高さの測定方法

製氷後のスラリーアイスを一ベーカーに移し、ベーカー底部を基準とし、ベーカー底部から氷粒子と水溶液が混在する相と液相との界面までの長さを、デジタルマイクロメーター

(ミットヨ製)を用いて測定を行った。

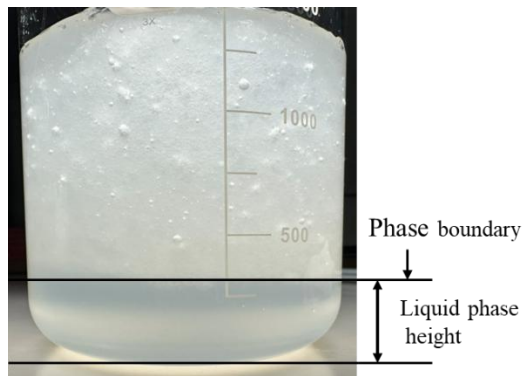


Fig.3 Measurement position

4.3 実験方法

粉末を市水に溶解させ作製するイオンドリンク(ファイン製)と、透明度が85%以上の高透明タイプである⁽³⁾Cellenpia(CS-12)(日本製紙製)のCNFを市水に1wt%分散させた水溶液を混合し、混合割合を変化させ、CNF添加スポーツ飲料を作製した。このCNF添加スポーツ飲料を、冷却温度 -15°C でIPF15wt%まで製氷を行った。回収後、液相の高さを測定し、室内温度 -2°C に設定した恒温槽に30分間静置し、その後液相の高さの測定を行った。

Table2 Experimental conditions

CNF addition concentration(wt%)	0,0.4,0.5, 0.6,0.7
Cooling temperature($^{\circ}\text{C}$)	-15
Chamber temperature($^{\circ}\text{C}$)	-2

4.4 実験結果

各CNF添加濃度による液相高さの経時変化を次図3に示す。CNF0wt%での液相高さが、時間によらず最も高い値を示した。CNFを添加したスラリーアイスでは、CNF添加濃度0.4wt%での液相高さが最も高い値を示し、CNF添加濃度0.5wt%以上においては大きな差は無かった。また、各CNF添加濃度の時間経過による液相の高さの変化割合に大きな違いは見られなかった。

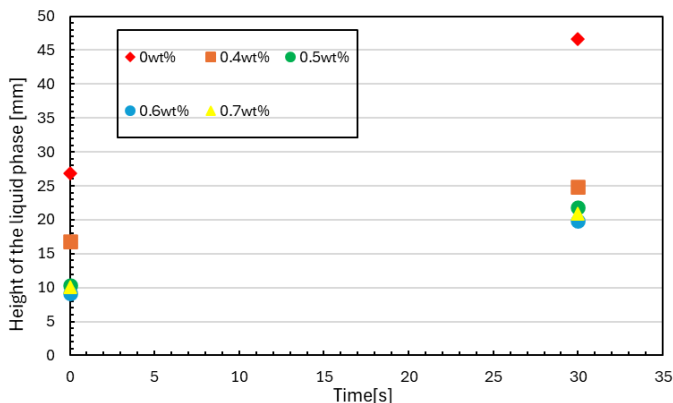


Fig.4 Temporal changes in liquid-phase height at different CNF concentrations

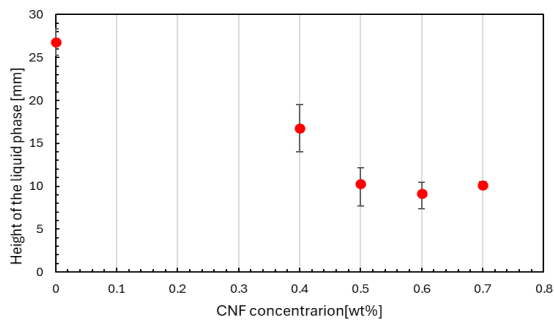


Fig.5 Liquid phase height at 0 min after recovery for different CNF concentrations

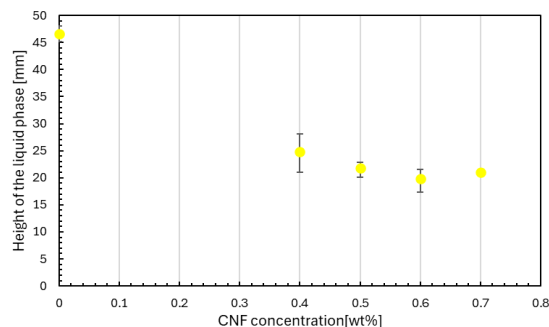


Fig.6 Liquid phase height at 30 min after recovery for different CNF concentrations

4.5 考察

CNF0.4wt%では、CNF0.5wt%以上に比べてCNF量が少ないため、CNF同士の接触点が相対的に少なく、3次元ネットワーク構造の連結性が低下する。そのため、回収直後から相分離しており、CNF0.5wt%以上のときと比べて液相高さが大きくなったと考えられる。

また、CNF0wt%での液相の高さの30分間での増加量に比べ、CNFを添加した場合での液相高さの増加量はいずれも半分程度となった。このことから、CNFが形成する3次元ネットワークによる抵抗力が働き、密度差による相分離の進行が抑制されたといえる。また、CNF添加した場合のそれぞれの増加量がほとんど変わらないことから、相分離の進行度合いは同程度といえるため、0.4wt%から0.7wt%の範囲では、分散安定性はあまり変わらないといえる。

5. 結論

本研究では、CNFを用いたスラリーアイス中の氷粒子分散による冷却能力の向上および嚥下の容易化を目的とし、CNFを添加したスラリーアイス中の氷粒子の挙動について検証を行った。その結果、分散安定性は0.4wt%から0.7wt%で違いは見られなかったが、初期液相高さを考慮すると、本実験条件において十分にスラリーアイス中の氷粒子を分散させるのに必要なCNF添加量は0.5wt%ということが確認された。

参考文献

- (1) RODNEY SIEGEL, JOSEPH MATE, MATT B. BREARLEY, GREIG WATSON1, KAZUNORI NOSAKA1, and PAUL B. LAURSEN : Ice Slurry Ingestion Increases Core Temperature Capacity and Running Time in the Heat, the American College of Sports Medicine, (2010), pp.719-722
- (2) 気象庁 世界の年平均気温 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html
- (3) Cosmetic-Info.jp <https://www.cosmetic-info.jp/mate/detail.php?id=20688>