

空気を通すだけ ～スーパースポットクーラー で冷却課題を解決～

日本原子力研究開発機構 (JAEA)
原子力科学研究所 NXR開発センター

呉田昌俊



くれた まさとし
呉田 昌俊

NXR開発センター長

略歴

京都大学大学院（工学博士）
日本原子力研究所
文部科学省、内閣府原子力委員会
日本原子力研究開発機構



専門



伝熱流動

（日本機械学会・奨励賞等受賞）
中性子ビジュアルセンシング
（日経サイエンス・ビジュアルサイエンス賞等受賞）
核燃料の非破壊測定
（文部科学大臣表彰等受賞）



趣味

剣道（日本スポーツ協会公認スポーツ上級指導員：剣道スポーツ少年団代表指導員）

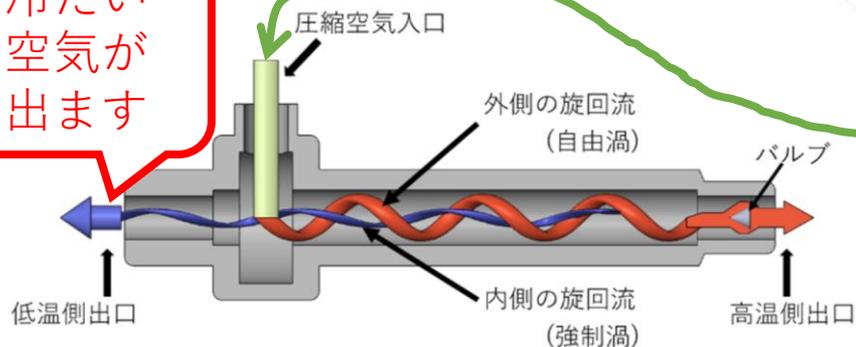
<https://tokaikendo.wordpress.com/>

剣道スポ少の指導員仲間 = 山藤鉄工(株)の山形社長

製缶や機械加工時にスポットクーラーがあるとイイな！

ボルテックスチューブを試してみてもいいですか？

冷たい
空気が
出ます



圧縮空気を通すと、冷たい空気と温かい空気が出てきます



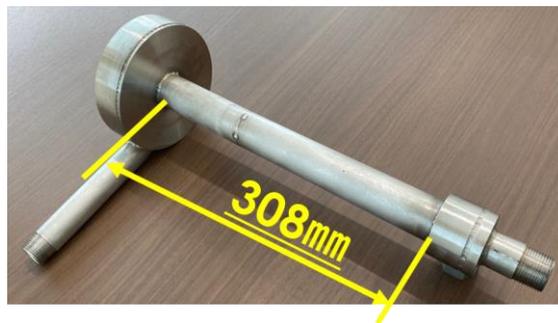
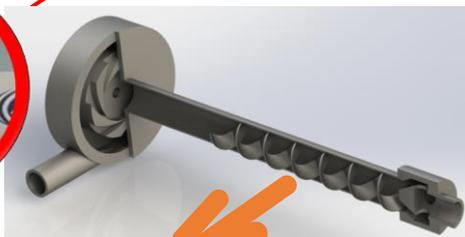
共同研究で作って試してみましよう

室温が20℃だとマイナス20℃くらいの冷たい空気が出ましたが、現場が性能不足で使いにくいと言っています





(一緒に検討中) ドリルで加工した時にできる切子
みたいなグルグルのフィンを入れてみましょう

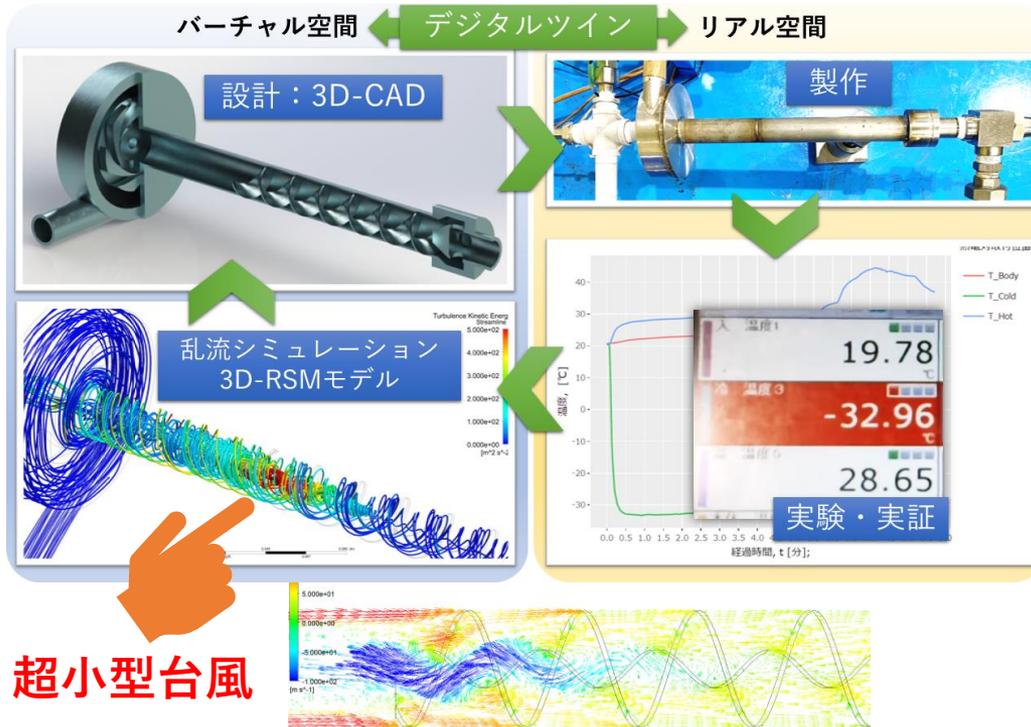


- ① 新型にはフィンがありません (特許出願)
ステンレス製 と 軽くてシンプルな樹脂製の2種類
- ② 既存技術で最適値とされた長さの半分以下の長さ
- ③ ステンレス製は、室温が20℃のとき-31℃まで、
樹脂製は、-22℃まで空気を冷たくできました



螺旋状フィンで “熱分離現象を増強させる超小型の台風” を作り出して、極低温を作り出す技術がコア技術です

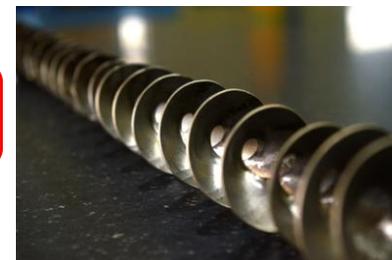
2022年9月発刊
Wikipediaでも引用
ダウンロード数：813



超小型台風



山藤鉄工(株)が開発した製造方法です



↓ 開発した伝熱流動試験装置

↓ 開発した核物質非破壊測定装置



現場には、さまざまな課題があった

現場の課題を解決したい

研究・技術開発の経験を活かして、社会に貢献したい



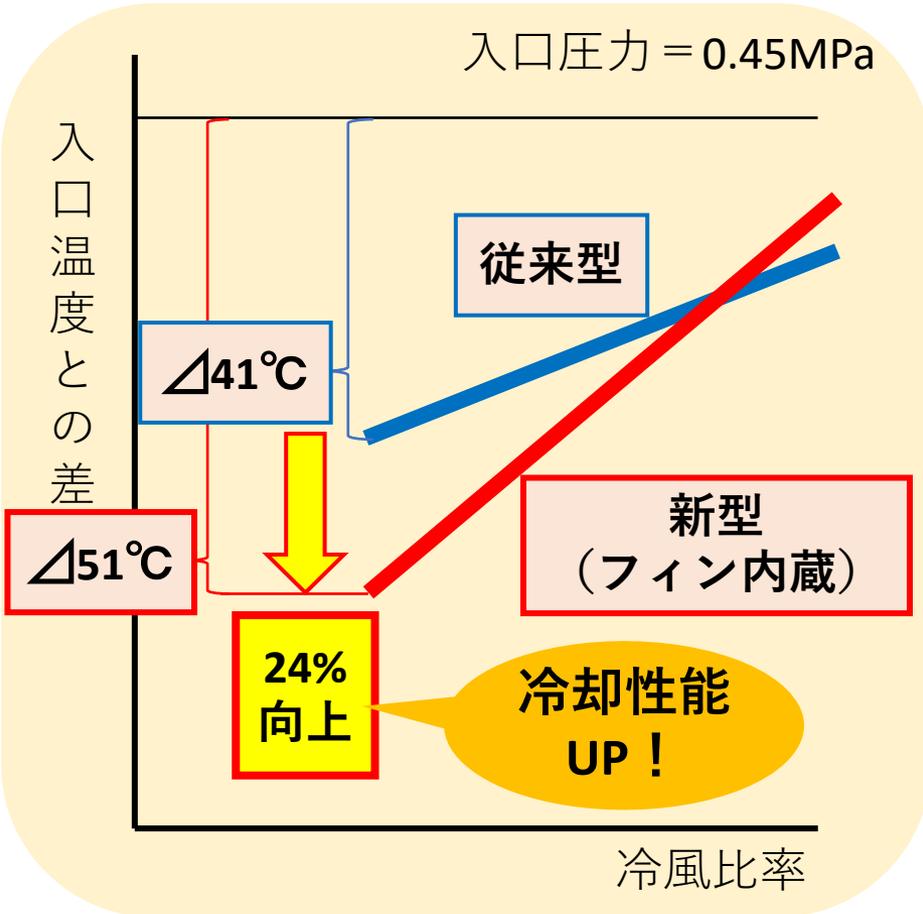
	ポルテック スチューブ	エアコン	ヒート パイプ + 空/水冷	ペルチエ 素子	空冷・ ファン (扇風機)	水冷 + 空冷	オイル 冷却 + 空冷	水ミスト (蒸発潜熱) 冷却
長所	<p>非接触</p> <p>極低温冷却 (加熱も可)</p> <p>可動部品 が無い (長期高信頼性)</p>	<p>大空間 の冷却</p> <p>高エネルギー効率</p>	<p>ヒートパイ プで 狭隘空間 から伝熱</p>	<p>簡易</p> <p>低温可</p>	<p>簡易</p> <p>非接触</p> <p>信頼性大</p>	<p>高性能</p> <p>汎用的</p>	<p>数100℃ の発熱 まで使用 可能</p>	<p>蒸発潜熱 を利用して 空間冷却 (空間温度を 少し下げ られる)</p>
短所	<p>低エネルギー効率 (大空間には 不向き)</p> <p>騒音 (発熱)</p> <p>コンプレッ サーが必要</p>	<p>冷媒漏洩 の可能性</p> <p>電気発火 の可能性</p> <p>複雑な システム 構築</p>	<p>直接接触 で利用</p> <p>ヒートパイ プや空/水冷 システムの 最適化 が必要</p>	<p>直接接触 で利用</p> <p>低温面の 対面は 高温発熱</p> <p>小面積 低エネルギー効率</p>	<p>室温以下 は不可能</p> <p>騒音</p>	<p>室温以下 は不可能</p> <p>直接接触 で利用</p> <p>水が使える 現場に 限られる</p>	<p>室温以下 は不可能</p> <p>専用オイル 循環・空冷 システムの 構築</p>	<p>低温 は困難</p> <p>水に 濡れる (加湿)</p> <p>高湿度環境 では 低性能</p>
適用 可能例	<ul style="list-style-type: none"> ・機械加工 ・飲料・電子 機器等製造 ライン ・塗装施設 ・制御盤 	<ul style="list-style-type: none"> ・居住区 空冷 ・冷凍室 ・冷蔵室 ・スポット クーラー 	<ul style="list-style-type: none"> ・CPU/GPU 等計算機 システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・半導体 素子 ・イメージ ジャー 	<ul style="list-style-type: none"> ・歪取り ・多くの 工業製品 	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの 工業製品 ・ゲーム用 PC ・原子炉 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温工業 製品 ・切削加工 機 	<ul style="list-style-type: none"> ・夏の公園 ・蒸発潜熱 利用冷風 扇

↑ 温度はバルブで室温~最高性能の範囲で制御できます

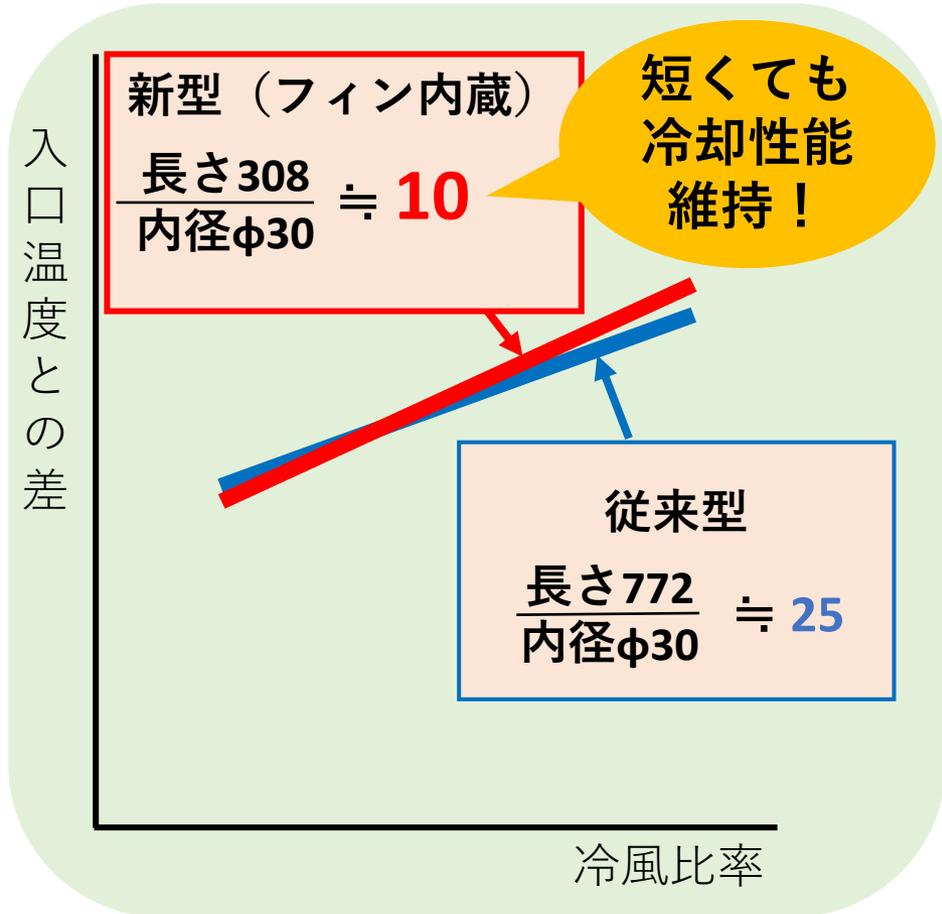
金属製

横軸：冷風比率 = 冷風出口での流量 / 入口での流量

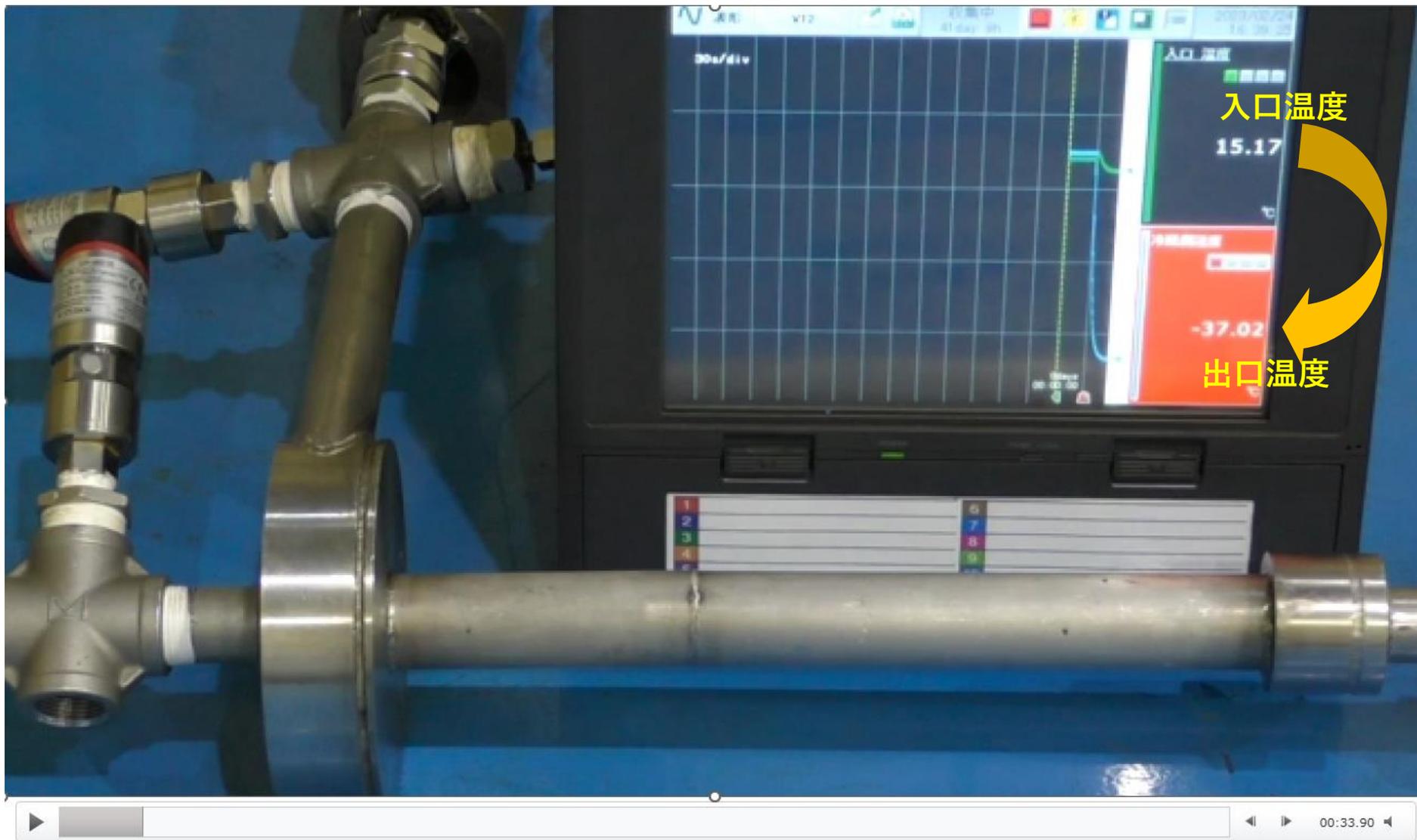
縦軸：入口（空気）温度との差 = 入口温度 - 出口温度 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)



① フィンを内蔵するだけで
約 10°C 更に冷たくできる



② フィンを内蔵すると
管の長さを半分以下にできる

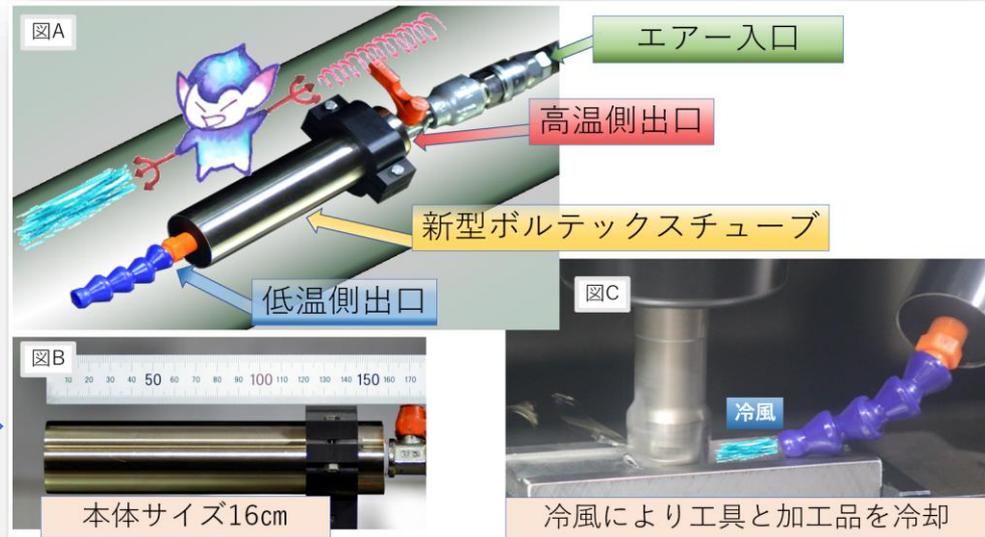


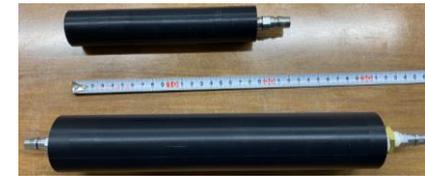
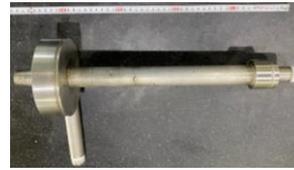
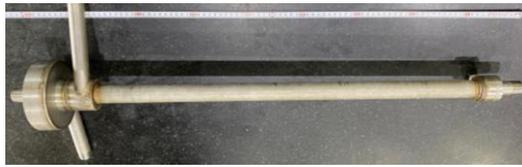
▲ 20秒後にマイナス37℃

▲ 6分後には配管が結露

山藤鉄工(株)の機械加工工場 での使用例

樹脂（標準製品）
+ ステンレス外筒製（小） →
↓ 樹脂 + アルミのハイブリッド製





	山藤鉄工(株)製造従来型	新型 1 (金属製)	新型 2 (樹脂製)
管内	空洞	中空の螺旋状フィン	
全長	940mm	470mm	300mm (大) / 200mm (小)
パイプ部長さ	705mm	308mm	同上
重さ	4,600 g	3,100 g	400 g / 150 g
温度差	$\Delta 41^{\circ}\text{C}$	$\Delta 51^{\circ}\text{C}$	$\Delta 42^{\circ}\text{C}$ / $\Delta 27^{\circ}\text{C}$
用途	製造現場で利用	製造現場等で利用	産業機器類の冷却等

↑

スーパースポットクーラーで冷却課題を解決

得意：空気だけで -20°C 以下に極低温冷却ができる

急速冷凍・冷却装置



15分後

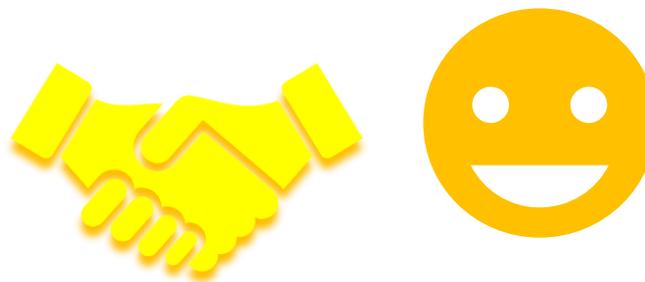


コンプレッサーが設置されている工場等で、急冷が必要な飲料・電子機器・加工品・塗装等の製造ラインや制御盤に設置

JAEA
原子力機構

山藤鉄工(株)

ART
(株)アート科学

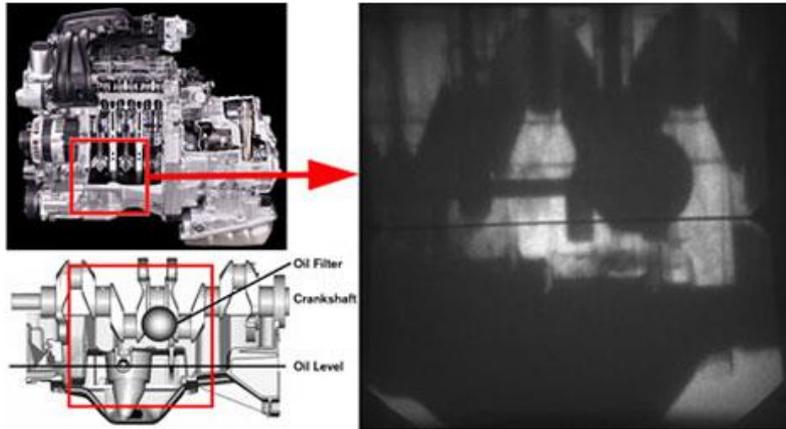


新型ボルテックスチューブ に関する技術相談

技術相談

- JAEAの呉田と山藤鉄工(株)の山形社長がご対応

日産自動車(株)殿との エンジン内オイルの高速可視化技術の開発



エンジン内部の潤滑オイル挙動の高速撮影(例)

2008年11月10日 共同プレス発表より

<https://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08111001/index.html>

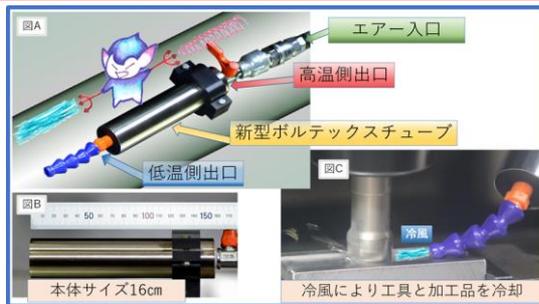
田中科学機器製作(株)殿との 蛍光X線分析装置の開発



2010年8月30日 共同プレス発表より

<https://www.tanaka-sci.com/news/2010-08-30/>

山藤鉄工(株)殿、(株)アート科学殿との 新型ボルテックスチューブの開発



特許「ボルテックスチューブ、熱分離装置」

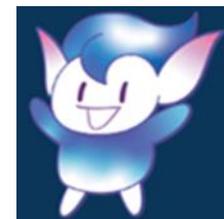
出願番号 2022-096172

公開番号 2023-020900

JAEAと山藤鉄工(株)

2022年9月9日 共同プレス発表より

<https://www.jaea.go.jp/02/press2022/p22090902/>



連絡先

日本原子力研究開発機構
研究開発推進部

 Email : seika.riyou@jaea.go.jp

開発資金

2020-2021年度:



東海村イノベーション創出補助金

2023年度 :



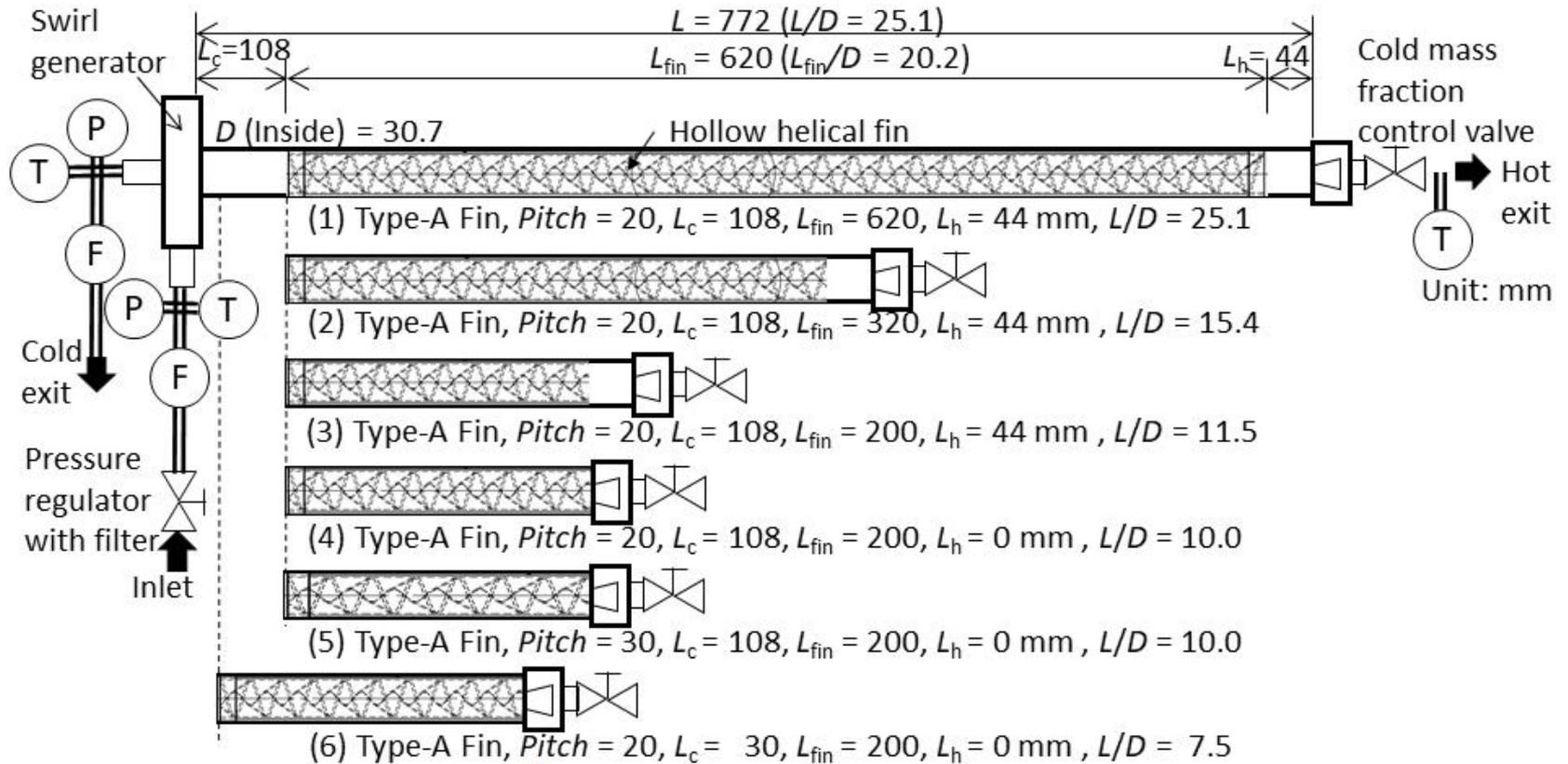
茨城県チャレンジ基金

The screenshot shows the JOPSS search results page. At the top, there are navigation tabs for 'すべて (2件)', '報告書 (1件)', '論文 (0件)', '口頭 (0件)', and '特許 (1件)'. A search bar contains the text 'ボルテックスチューブ'. Below the search bar, there are filters for document types: '研究開発報告書類 (JAEA-Research等)', '学会誌等掲載論文', '口頭発表', and '特許'. The search results show 2 items, with the first item selected. The selected item is a report titled 'Experimental and numerical study on energy separation in vortex tube with a hollow helical fin (Joint Research)' by Masatoshi KURETA, Yoji YAMAGATA, Ken MIYAKOSHI, Tatuya MASHII, Yoshiaki MIURA, and Kazunori TAKAHASHI. The report is dated 2022-09 and is 28 pages long. The abstract is visible, discussing the experimental and numerical study on energy separation in a vortex tube with a hollow helical fin. The report is marked as '特許' (Patent) and '公開特許公報' (Published Patent Abstract).



The cover of the JAEA-Research report is shown. It features the JAEA logo at the top left and the title 'Experimental and Numerical Study on Energy Separation in Vortex Tube with a Hollow Helical Fin (Joint Research)' in the center. The authors listed are Masatoshi KURETA, Yoji YAMAGATA, Ken MIYAKOSHI, Tatuya MASHII, Yoshiaki MIURA, and Kazunori TAKAHASHI. The report is dated September 2022 and is published by the Japan Atomic Energy Agency. The cover also includes the JAEA-Research logo and the text 'JAEA-Research 2022-007' and 'DOI:10.11484/jaea-research-2022-007'. The cover is predominantly blue and white.

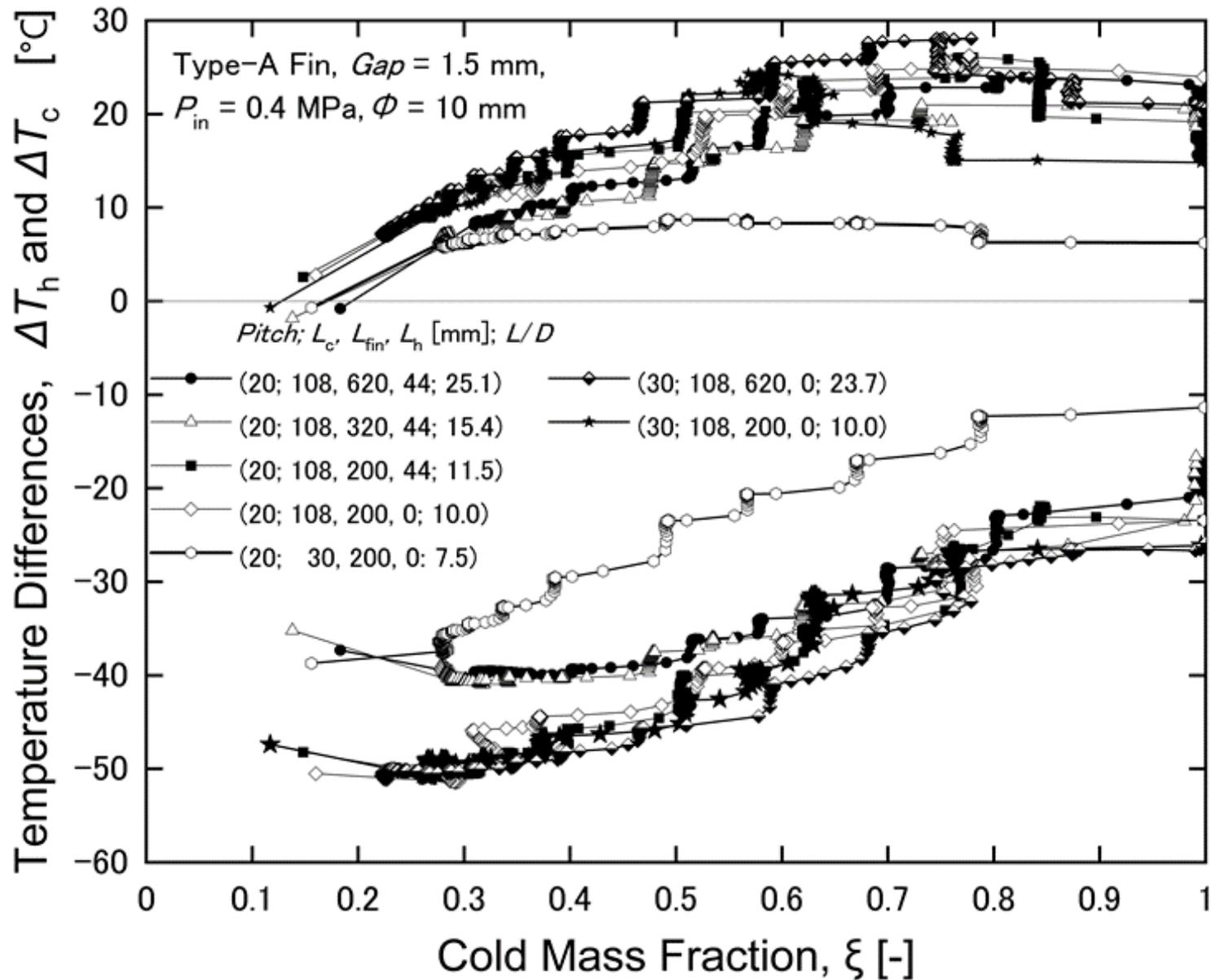
JAEAの公開ホームページからダウンロードできます。
<https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5075504>



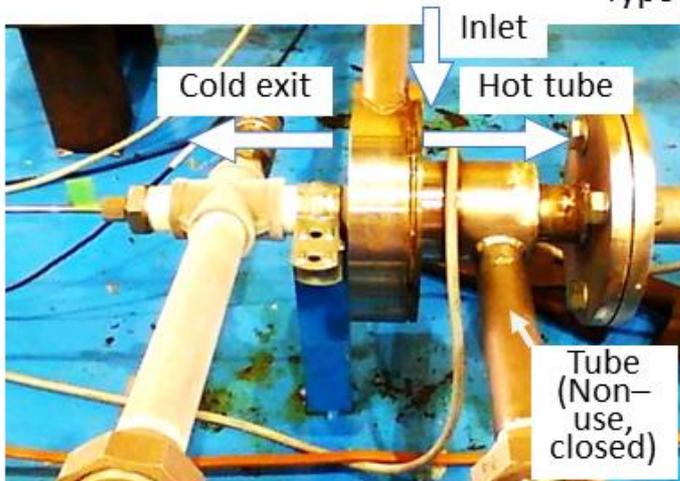
↓ Inlet Outside-view of the short vortex tube



(5) Type-A Fin, Pitch = 30 mm, $\Phi = 10$ mm, $L_c = 108$ mm, $L_{fin} = 200$ mm, $L_h = 0$ mm, $L/D = 10.0$



Type-A Fin, Gap=1.5 mm

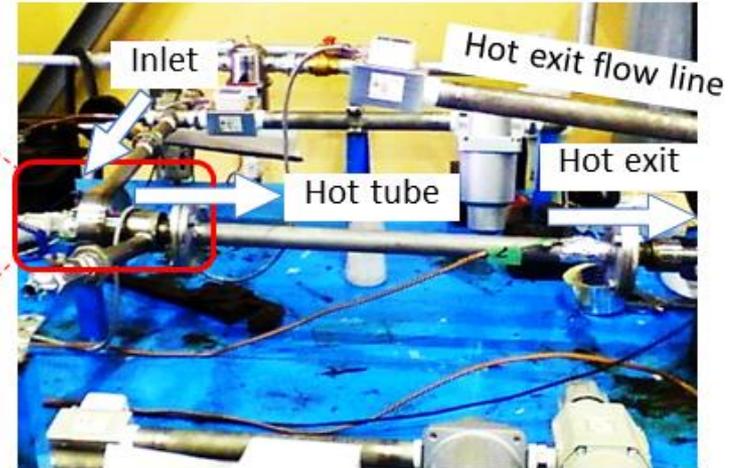


(a1) Photo at the cold exit



(a2) Temperature at the cold exit

(a) $P_{in}=0.5\text{MPa}$, $F_{in}=265\text{kg/h}$, $T_{in}=22^\circ\text{C}$, $\xi=0.34$
Result: $\Delta T_c = -50^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +10^\circ\text{C}$



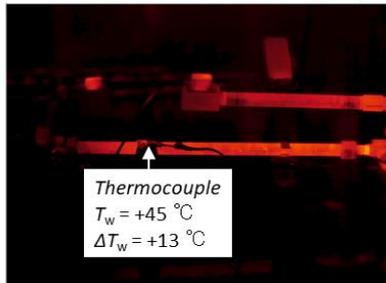
(b1) Photo



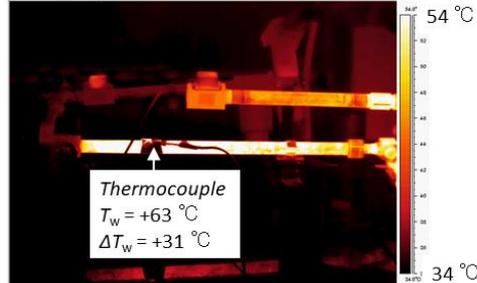
(b2) Temperature

(b) $P_{in}=0.4\text{MPa}$, $F_{in}=212\text{kg/h}$, $T_{in}=22^\circ\text{C}$, $\xi=0.48$
Result: $\Delta T_c = -42^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +23^\circ\text{C}$

Finless (Simple vortex tube), Gap=0.5 mm

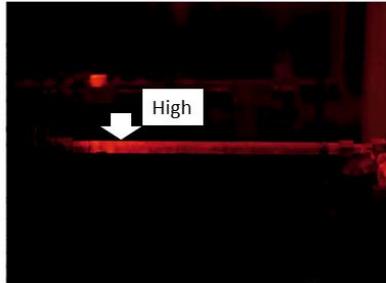


(a1) $P_{in}=0.51\text{MPa}$, $F_{in}=224\text{kg/h}$, $T_{in}=32^\circ\text{C}$, $\xi=0.37$
Result: $\Delta T_c = -46^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +13^\circ\text{C}$

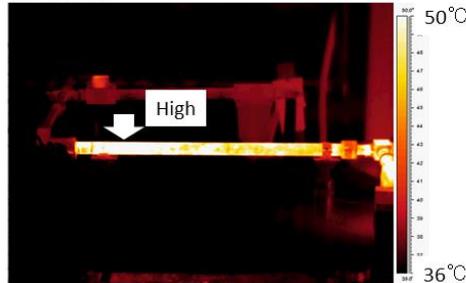


(a2) $P_{in}=0.56\text{MPa}$, $F_{in}=202\text{kg/h}$, $T_{in}=32^\circ\text{C}$, $\xi=0.9$
Result: $\Delta T_c = -18^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +25^\circ\text{C}$

Type-A Fin, Gap=1.5 mm



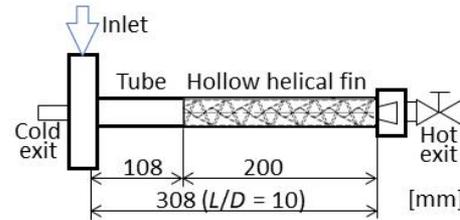
(b1) $P_{in}=0.45\text{MPa}$, $F_{in}=226\text{kg/h}$, $T_{in}=32^\circ\text{C}$, $\xi=0.23$
Result: $\Delta T_c = -54^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +6^\circ\text{C}$



(b2) $P_{in}=0.52\text{MPa}$, $F_{in}=201\text{kg/h}$, $T_{in}=36^\circ\text{C}$, $\xi=0.75$
Result: $\Delta T_c = -44^\circ\text{C}$, $\Delta T_h = +26^\circ\text{C}$

ボルテックスチューブの
表面は、手で触れない程に
熱くなります

➡ 樹脂製は発熱対策済



(a) Short vortex tube

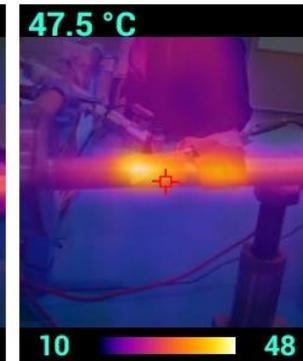


(b) Photo

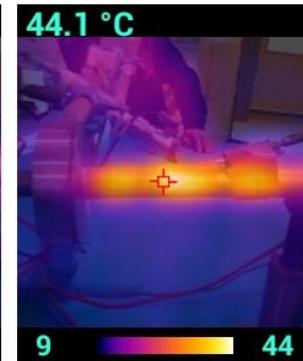
熱くなる位置は、
熱分離現象の位置
と関係しています



(c1) $\xi = 0.25$
(Valve full open)



(c2) $\xi = 0.7$
(T_w max.)



(c3) $\xi = 1.0$
(Valve close)

Type-A Fin, Gap = 1.5 mm, $\Phi = 10$ mm, $P_{in} = 0.4$ MPa
Pitch = 30 mm, $L_c = 108$ mm, $L_{fin} = 200$ mm, $L_h = 0$ mm; $L/D = 10.0$

