

**鋳物の不良品生成のメカニズムをマイクロレベルで解明！  
— 金属製品の生産効率・品質改善に期待 —****概要**

九州大学大学院工学研究院の戸田裕之主幹教授らの研究グループは、世界最大のシンクロトロン放射光施設 SPring-8 (※1) での 4D 観察 (※2) を活用し、鋳物のブリストア (※3) と呼ばれる製造欠陥の生成メカニズムを解明しました。鋳物は、人類が金属を使い始めた頃から用いられている金属製品の製造技法ですが、現在でも、自動車エンジンを代表として、金属製品の最も一般的な製造方法です。鋳物に高温加熱を行うと、表面が水膨れのように膨れるブリストアと呼ばれる製造欠陥が発生することはよく知られていました。SPring-8 で得られた 4D 画像の解析と数値シミュレーションにより、その発生メカニズムがマイクロのレベルで明らかになりました。このメカニズムに基づき製造プロセスを改善することで、鋳物の特性向上が期待されます。

本研究成果は、英国の国際学術誌である『International Journal of Cast Metals Research』に掲載され、2015年3月18日(水)に、出版社である Maney Publishing 社より2年に一度最優秀論文に贈られる『Best Paper Prize』を受賞しました。

**背景**

金属材料は、多くの場合、数百度から千数百度といった高温で保持する熱処理を施し、高強度にして用いられます。熱処理を施す際、時として表面が数ミリから数センチにもわたって膨れる、ブリストアと呼ばれる製造欠陥が生じます。ブリストアは、鋳造材のようにグレードの低い材料だけではなく、航空機の機体や自動車のボディー・足回りなどに使用される圧延材、押し出し材、鍛造材のような高級な材料にも発生します。製造過程で材料にこのような粗大な欠陥が生じると、不良品として廃棄されることとなります。これまで、ブリストアの発生メカニズムについては様々な研究がなされ、金属に含まれるガスの影響であることはおおむね理解されてきました。しかしながら、ブリストアは金属の内部から発生する製造欠陥なため、その発生・成長の様子を直接観察することができず、金属に含まれるガスが様々な材料にどのように作用して発生するかは、明らかにされていませんでした。

また、本研究成果については、「高分解能 CT 法と画像ベースの解析を用い、鋳物中でどのようにブリストアが生成するかがうまく説明されている。空洞やブリストアの生成に関する深い理解が得られ、鋳物の品質向上に貢献すると期待される」との評価を受け、英国の国際学術誌である『International Journal of Cast Metals Research』より2年に一度、最優秀論文に贈られる『Best Paper Prize』を受賞しました。

**内容**

研究グループは、一連の研究の中で、アルミニウムのブリストア生成の挙動を SPring-8 での CT (※4) を利用した 4D 観察 (図 1) により世界で初めて直接観察することに成功しました。その結果、通常は工業的に検知できない数十マイクロン (1 ミリの数十分の一) の空洞が生成し、これが金属材料の鋳造時に巻き込まれた高圧力の窒素ガスや二酸化炭素ガスであること、その高圧力によって空洞周囲に水素ガスのさらに微細な空洞 (直径数マイクロン: 1 ミリの数百分の一) が多数発生し、これらが合体する事でブリストアが生成することを突き止めました (図 2、図 3)。この結果は SPring-8 で得られた 4D 画像を見ることでもある程度確認できますが、研究グループは、4D 画像を解析して空洞の初期の成長挙動を解析したり (図 4)、3D 画像を用いて大規模数値シミュレーションを実施・解析することで (図 5、図 6)、これを定量的に説明することにも成功しました。

**効果**

本研究成果により、ブリストアが生成されるメカニズムが明らかになると同時に、その生成条件も明示されました。ブリストアは、窒素ガスや二酸化炭素ガス、および水素ガスの組み合わせで生成すると

判明したことから、これらのガスのうち、少なくとも1種類のガスの混入を制御することで、ブリストアの生成を抑制することができ、鋳物の品質向上が図られるものと期待されます。金属材料は、我々の身の回りで構造用材料として幅広く使われています。また、ブリストアは古くから知られ、また現在でも最もありふれた製造欠陥の一つです。ブリストアの発生防止に関する知見は、様々な製造プロセスを経て作られる様々な種類の金属材料の製造に影響する波及効果の大きなものであると言えます。

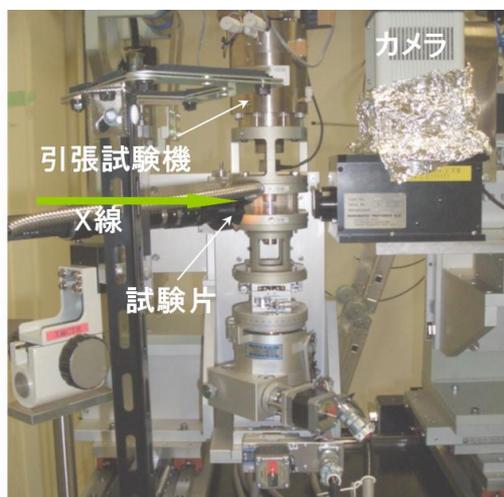


図1 SPring-8のイメージング用ビームラインBL20XUでの実験風景。

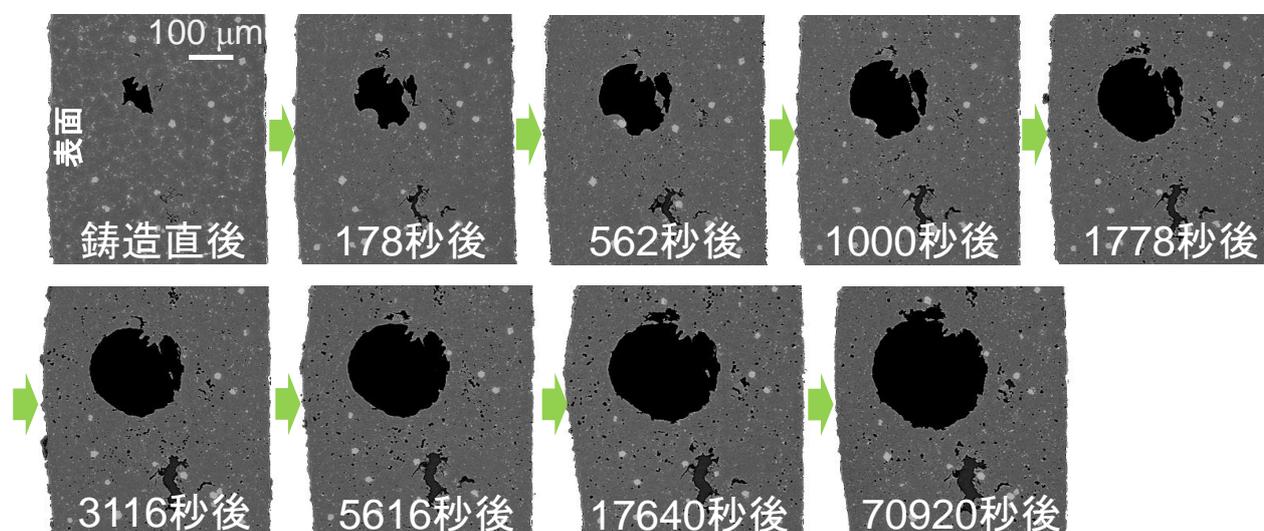


図2 アルミニウム熱処理プロセスのSPring-8を用いた4D観察。これは、同じ仮想断面の連続観察像。鋳造直後から数十ミクロンの空洞（黒色）が内部に存在し、それが熱処理により徐々に成長し球状となる。球状の空洞の周囲に微小な空洞（黒色）が見えるが、これは水素が材料から出てきたもの。結果として、表面（図の左端）が徐々に盛り上がっていることが分かる。

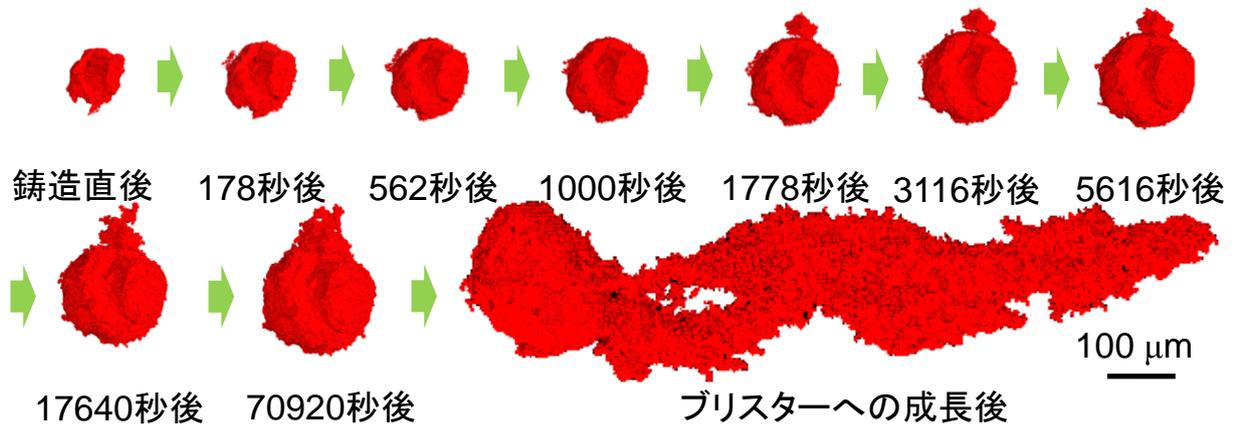


図3 アルミニウム熱処理プロセスのSPring-8を用いた4D観察。これは、図2の画像に見られる最も大きな空洞のみを3Dで表示したもの。初期段階は数十マイクロであった空洞が数ミリメートル程度のブリストアへと成長していく様子が分かる。

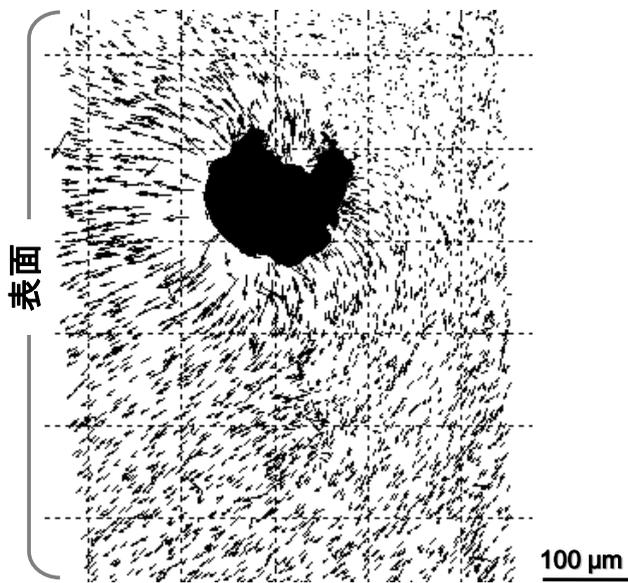


図4 図2の空洞の成長過程における材料の流動を画像解析により可視化したもの。矢印は材料の流動を示す。材料表面を押し上げ、ブリストアが生成する方向に材料が変形していることが分かる。

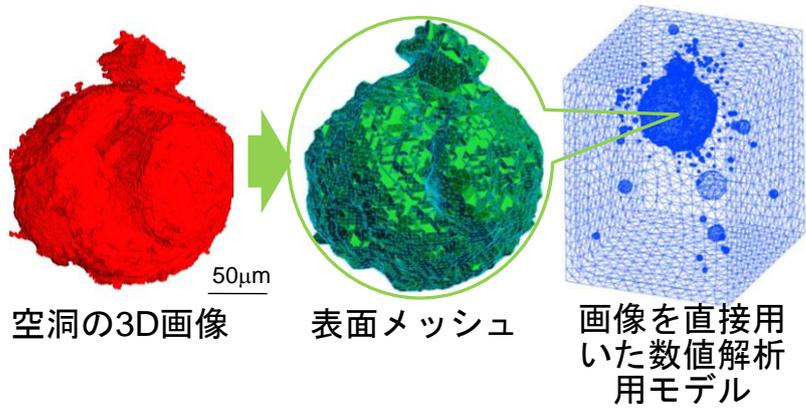


図5 図2の空洞の成長過程を大規模数値シミュレーションするための3Dモデル作成過程。空洞の形状をそのまま解析モデルに取りこみシミュレーションする。

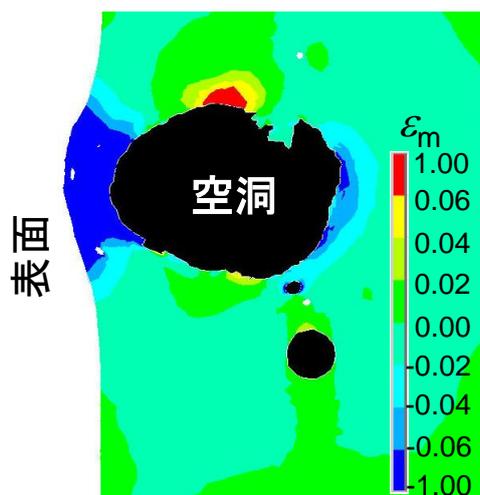


図6 図4のモデルを用いたシミュレーション結果。赤や黄色、黄緑で示す領域に空洞による引張の力がかかり、その場所で水素の微小な空洞の生成が誘発されることが証明された。

### 【用語解説】

(※1) SPring-8：播磨科学公園都市（兵庫県）にある世界最高性能の放射光を生み出すことができる大型放射光施設。放射光とは、電子を光速とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、超強力な電磁波のこと。SPring-8では、放射光を用いてナノテクノロジー、バイオテクノロジーなど幅広い研究が行われている。

(※2) 4D：四次元。3D（三次元）に時間軸を足したもの。4D観察は、一眼レフカメラの連写の様に3D画像を連続的に取得すること。現実の物体は全て3Dであり、4D観察ではその変化を克明に記録することができる。そのため、各種現象の理解や解明に非常に有効な手段となる。

(※3) ブリスター：金属を高温に曝されたときに、製品内部に铸込まれたガスが膨張して材料表面の膨れを発生させます。特に、ダイカスト法と呼ばれる汎用法で铸造された製品は、このブリスターの生成のために熱処理や溶接を行うことが不可能とされている。

(※4) CT：Computed Tomography（コンピュータ断層撮影法）の略語。病院では骨や臓器を3Dで観察するのに用いられる。一方、SPring-8では金属材料の組織の3D観察が可能で、病院のCT装置に比べて数百倍高い分解能での観察ができる。

### 【お問い合わせ】

大学院工学研究院

主幹教授 戸田裕之（とだ ひろゆき）

電話：092-802-3246

FAX：092-802-0001

Mail：[toda@mech.kyushu-u.ac.jp](mailto:toda@mech.kyushu-u.ac.jp)