

# JIS

## 黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法

JIS Z 2356 : 2006

(JSNDI/JSA)

平成 18 年 5 月 20 日 制定

日本工業標準調査会 審議

(日本規格協会 発行)

JIS Z 2356 : 2006

## 黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法 解 説

この解説は、本体及び附属書に規定した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

この解説は、財団法人日本規格協会が編集・発行するものであり、この解説に関する問合せは、財団法人日本規格協会へお願いします。

**1. 制定の趣旨** 宇宙科学研究所（現 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部）の M-V ロケット 4 号機の打上げ失敗（2000 年 2 月 10 日）の対策として、宇宙開発委員会 技術評価部会によって、固体ロケットモータのノズルに使用されている等方性黒鉛製のスロートインサートと呼ばれる耐熱部材の品質保証が強く要請された。このため、等方性黒鉛素材に対する品質保証方法の重要要素技術としてこの規格が制定された。

この探傷検査方法の特徴として、伝搬する超音波ビームに波頭の揺らぎが見られる素材を対象とするため、試験体ごとに超音波伝搬特性の測定を行った後に、試験体全体を水没させ一探触子のパルス反射法を用いた垂直及び斜め入射によって超音波自動探傷を行うことが挙げられる。さらに、焼結体においては、きずの方位を限定できないことから、あらゆる方位の面状きずを検出するため、一つの入射面に対して平面の走査に加え独立した二つの入射角を変えて走査することが特徴である。このような探傷検査方法は、固体ロケットのためだけの技術ではなく、セラミックス、チタンなどの焼結材料の素材検査一般に今後必要とされてくるであろうと考えている。

**2. 制定の経緯** 黒鉛材料は、我が国の固体ロケットモータのノズル部材に多数使用されてきており実績が多いこと、非破壊検査が難しい材料であることから、精密な非破壊検査はこれまで省略されてきた。宇宙分野以外でも、大型の黒鉛部材に対する非破壊検査は、日本原子力研究所高温工学試験研究炉 (HTTR) 炉心支持黒鉛構造物を除いては、ほとんど実施されていない。

固体ロケットモータの黒鉛製ノズルスロートに対する品質保証方法の開発は、宇宙科学研究所が中心となり、宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所及び宇宙開発事業団の 3 機関連携・協力事業による信頼性向上共同研究プロジェクトの中で、大学、中立機関、重工メーカ、超音波探傷会社等の参加を得て、グラファイト非破壊検査検討会として実施された（2000～2003 年）。そのなかで中心となったのが黒鉛素材の探傷検査方法の開発であり、2003 年に宇宙科学研究所規格として“グラファイト素材の水浸型超音波自動探傷法による全方位欠陥の体積検査方法”が制定された。

上記規格に基づき品質保証を実施した結果、黒鉛製ノズル部材を使用して、2003 年 5 月には M-V ロケット 5 号機が、また、2002 年 2 月から 2004 年 12 月までに S-310 観測ロケット計 6 機が、相次いで打ち上げに成功している。

2003 年 9 月財団法人日本非破壊検査協会において協会規格としての原案作成委員会の設置が認められ、同年 10 月から翌 4 月にかけて審議を行い、標準化委員会において承認され、2004 年 7 月財団法人日本非

破壊検査協会規格 NDIS2425:2004（黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法）が制定された。

並行して、社団法人日本非破壊検査協会／財団法人日本規格協会から、工業標準原案を具して日本工業規格を制定すべきとの申出を行い、2004年7月から2005年1月にかけて JIS 原案作成委員会において審議を行い、この規格原案が作成された。

### 3. 審議中に問題となった事項

**3.1 規格名称** この規格は判定基準まで含むため“探傷検査方法”とした。黒鉛は通称グラファイトと呼ばれているものである。黒鉛の探傷にはあらゆる方位の面状きずの検出が不可避であるため、規格名称では“あらゆる方位の面状きず”という検出対象の限定は行っていない。また、あらゆる方位の面状きずの効率的な検出には試験体を円柱形状とすることが必要であるため、“円柱形状の”という試験体形状の限定は行っていない。

**3.2 一次探傷及び二次探傷 [本体の 3. i) , j)]** 判定基準が同じで探傷感度及び探傷ピッチの異なる2段階探傷の名称として“一次探傷”及び“二次探傷”という用語を用いた。一次探傷は、二次探傷に比べ高い探傷感度で（すなわち同一感度で行うならば判定基準を低くして）、広い見かけのビーム幅で探傷を行い、二次探傷すべき部位を特定する。これによって入射角走査における走査点数が削減でき探傷時間の短縮につながる。

**3.3 試験体及び検出対象きず (本体の 5.)** この規格の試験体及び検出対象きずは、これまでの実績を考慮し、材料は等方性黒鉛、試験体の最大寸法は直径及び高さがそれぞれ 225 mm、検出対象きずの最小寸法は等価直径 3 mm 以上とした。試験体の形状が直径と高さの比が 1 程度の円柱形状であることは、あらゆる方位の面状きずを効率的に検出する探傷方法実現のため必須である。

**3.4 技術者 (本体の 6.)** ISO 9712 との相互認証を考慮し、“JIS Z 2305 UT レベル 2 の有資格者又は相当の技術者”とした。

**3.5 表面処理 (本体の 8.1.1 及び本体の 9.1.2)** 黒鉛素材は気孔率が高く親水性があるため、機械加工ままの状態では水の吸収状態の差によって表面エコーが部位ごとに異なる。そのため防水のための表面処理が必要であるが、エポキシ樹脂コーティング剤等のうちで浸透性の小さなものを選んで、薄く塗布しなければならない。また、コーティング材の表面は凹凸がないようにし、超音波ビームが曲がらないようにする。

**3.6 見かけのビーム幅 (本体の 8.6)** 検出きず相当平底穴に対し、最大エコー高さから規定の強度低下内でエコーが出現する範囲を見かけのビーム幅とし、面方向及び角度方向のビーム幅をそれぞれ面方向ビーム幅及び角度方向ビーム幅と定義した。上記の規定の強度低下は、一次探傷及び二次探傷、並びに検出対象きず寸法によって、本体の表 1 のように定められている。

**4. 適用範囲** この規格は、伝搬する超音波ビームに波頭の揺らぎが見られる高減衰材料の大型素材に対してあらゆる方位の面状きずの検出を行うことを目的としている。その中では、探傷条件を規定するのではなく、探傷条件の設定方法を規定するようにした。したがって、この探傷検査方法は、黒鉛素材に限定されるものではないと考えており、今後の研究の進展に伴い、適用範囲がセラミックス、チタンなどの焼結材料の素材検査一般に広げられることを期待したい。

**5. 規定項目の内容** 4.に述べたように、この規格では、伝搬する超音波ビームに波頭の揺らぎが見られる高減衰材料の大型素材に対してあらゆる方位の面状きずの検出を行う。この探傷検査方法の実施に当た

つては、SN 比の確保と探傷時間の短縮とのトレードオフが重要な検討課題となり、次に示す方針に基づき探傷検査方法を作成した。

**5.1 黒鉛の超音波伝搬特性** 黒鉛素材においてはほとんどの場合、垂直平底穴のエコー高さの最大値は垂直入射ではなく、2 軸首振り走査を行ったときに得られる。その主原因は、素材中の減衰率の違いではなく、超音波ビームの振幅最大位置がビーム波面内で左右に変動するため（波頭の揺らぎ）であると考えられる。したがって、平底穴のエコー高さを測定する場合には、常に2 軸首振り走査を行い最大エコー高さを求めることが必要である。横穴のエコー高さを測定する場合には、横穴軸方向への走査を行い最大エコー高さを求めることが必要である。試験体の探傷においては、あらゆる方位からの入射を行えば、対象とする反射源の最大エコー高さを測定できると考えられる。

**5.2 探傷感度調整** 黒鉛素材のロットごとの超音波伝搬特性の違いを補償するため、基準感度調整は試験体そのもので行うこととした。安全側の設定として、二つ以上の平底穴のうちの2 軸首振り走査による最大エコー高さが最も低いものを使用する。それに付加的に追加する各種補正及び距離振幅補償は同種材料の対比試験片で測定する。

**5.3 探傷方法** 試験体を円柱形状とすることで、面走査の1 軸（R 軸）を連続的な回転で実現することができ、探傷時間の低減に有効である。さらに、コーナー入射補正が必要な試験体のコーナー部も少なくすることができ、探傷感度の低下と SN 比向上に有効である。また、探傷時間削減に有効なのは入射角走査における走査点数削減である。このため、比較的高い探傷感度で大きな探傷ピッチで全体を探傷する一次探傷と、特定部位だけを小さな探傷ピッチで探傷する二次探傷の2 段階探傷を行う。さらに、必要であれば千鳥走査を行うことで、同じ探傷ピッチであれば探傷感度を下げ、SN 比を向上させることができる。

**5.4 見かけのビーム幅** 面方向ビーム幅は、近距離音場限界距離近傍で最小値をとりビーム路程の増加とともに増加し、かつ斜角入射では垂直入射よりも大きくなると考えられる。角度方向ビーム幅は、ビーム路程には強くは依存せず、かつ斜角入射では垂直入射よりも大きくなると考えられる。この規格では、それぞれのビーム幅について、垂直入射で幾つかのビーム路程で実測した中で最も厳しい値をすべての入射条件及びビーム路程に一律に適用するとしている。このため、特定の位置（面方向では近距離音場限界距離近傍）の反射源を除いてビーム端における強度低下は表 1 よりも十分に小さくなり、安全側に余裕のある探傷方法となっている。

**5.5 探触子** 直径 12.5～25.4 mm、公称周波数 1～2.25 MHz、集束及び非集束型の探触子で検討を行った結果、感度余裕、SN 比及び見かけのビーム幅からみて、公称周波数 2.25 MHz、振動子径 25.4 mm の非集束セラミックス・ポリマーコンポジット探触子（2.25K25.4I）が推奨される。

## 6. 懸案事項

**6.1 反射源の同定** 検出した超音波エコーの反射源がき裂進展の核となる有害なものであるかどうかの判定は、現在研究途上であり、この規格では規定していない。

**6.2 反射源の位置の評定** 検出した超音波エコーの反射源の位置の評定は、この規格では取り扱っていない。黒鉛素材中の超音波ビームの波頭の揺らぎが位置評定の精度を低下させることが考えられる。しかしながらこの規格では、二次探傷を行った反射源について、入射条件、ビーム路程の記録をすることとしており、上記超音波ビームの波頭の揺らぎがないとしたときの反射源の位置の評定が行えるようにしてある。

**6.3 きず検出確率評価** 黒鉛素材の超音波探傷におけるきず検出確率評価は、現在研究途上であり、この規格では規定していない。

### 7. 引用に関する事項 次の二つの文献は、この規格の元となった規格である。

“グラフアイト素材の水浸型超音波自動探傷法による全方位欠陥の体積検査方法” 佐藤英一, 三原毅, 志波光晴, 佐藤明良, 山添智, 島田善嗣, 品川議夫, 井田隆志 : 宇宙科学研究所報告, vol.126, (2003)

“黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法” 社団法人日本非破壊検査協会規格 NDIS2425:2004, (2004)  
次の文献は、この規格の技術的根拠をまとめた論文である。

“黒鉛材料の面状きずを対象とした超音波探傷法の検討” 佐藤英一, 志波光晴, 品川議夫, 井田隆志, 山添智, 佐藤明良 : 非破壊検査, vol.55, (2006) No.9 印刷中

次の文献は、固体ロケットモータの黒鉛製ノズルスロートに対する品質保証方法の全体の流れについてまとめている。

“固体ロケットモータの黒鉛製ノズルスロートに対する品質保証方法について” 山添智 : 非破壊検査, vol.53, (2004) pp.391-394

そのほか、黒鉛の超音波探傷に関する文献としては、

“高温工学試験研究炉の黒鉛検査基準” JAERI-M 91-102, 日本原子力研究所, (1991)

“HTTR の黒鉛受け入れ検査における超音波探傷試験” JAERI-M 93-003, 日本原子力研究所, (1993) が存在するが、あらゆる方位ではなく周方向及び軸方向のきずだけを対象としていることから、この規格では引用していない。

### 8. 原案作成委員会の構成表 原案作成委員会の構成表を、次に示す。

#### (黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法) JIS 原案作成委員会 委員構成表

	氏名	所属
(委員長)	松 嶋 正 道	宇宙航空研究開発機構先進複合材評価技術開発センター
(幹事)	○ 佐 藤 英 一	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
(委員)	堤 紳 介	財団法人日本規格協会
	○ 三 原 毅	東北大学大学院工学研究科
	榎 学	東京大学大学院工学系研究科
	石 井 敏 満	日本原子力研究所
	○ 志 波 光 晴	財団法人発電設備技術検査協会溶接・非破壊検査技術センター
	○ 佐 藤 明 良	株式会社アイ・エイチ・アイ・エアロスペース
	田 上 稔	石川島播磨重工業株式会社
	○ 小 倉 幸 夫	日立エンジニアリング株式会社
	○ 品 川 議 夫	株式会社ジーンズ
	宇田川 義 夫	有限会社アイ・エス・エル
	吉 荒 俊 克	非破壊検査株式会社
	田 邊 靖 博	炭素材料学会 (東京工業大学応用セラミックス研究所)
	守 井 隆 史	JFE 大径鋼管株式会社
	大 山 英 人	株式会社神戸製鋼所
	東 村 尚 暢	東洋炭素株式会社
	羽 山 清 寿	株式会社 TYK
	服 部 満	日本ガイシ株式会社
(事務局)	阿 部 節 矢	社団法人日本非破壊検査協会

備考 ○印は、分科会委員を示す。

(文責 佐藤 英一)