

## 研究論文

## 陶磁器の耐衝撃性に影響を及ぼす因子解明の研究

内田 貴光\*1

## The Factor Influencing that Impact Resistance of Porcelain Tableware

Takamitsu UCHIDA\*1

Seto Ceramic Research Center\*1

同じロット内の衝撃エネルギーの低い強化磁器食器は、その他の強化磁器食器と比べ何が異なるのか、ばらつきの主要因について検討を行った。強化磁器食器を用いて衝撃エネルギーが最も低い試験体と基準となる試験体を比較照合した結果、衝撃エネルギーが著しく低下する要因として異物や空隙による欠陥や縁の厚みが薄くなるのが主要因ではなく、玉縁近傍で大きな歪みや、薄くなる箇所があることが大きな要因であることを見出した。このことから、本測定法を用いて形状及び内部欠陥を詳細に検討することで著しく衝撃エネルギーが低くなる製品の予測及び原因の推定が可能であることが分かった。

## 1. はじめに

これまで強化磁器食器は、より割れにくく、軽く、耐久性を向上させ、そしてロット内のばらつきを抑えるために、素地の強度の向上や釉中への圧縮応力の付与といった研究、人為的失敗を防ぐために製造ラインの自動化、効率化等、様々な試みにより衝撃強さの向上とばらつきが小さくなるように企業努力がなされてきた。その結果、蒲地氏の報告<sup>1)</sup>によると碗形状、皿形状合わせて246種の強化磁器食器の衝撃エネルギーの変動係数(標準偏差/平均値)のメディアン平均は0.118とばらつきの少ない強化磁器食器を製造できるようになった。しかし、その報告から30%程の強化磁器食器の変動係数が0.2を超えていることも示されている。仮に同じ平均値であっても、変動係数が0.15と0.25の強化磁器食器のばらつき差は大変大きく、ばらつきの大きい商品は、消費者、製造者の意図していない破壊の可能性を含んでおり、今現在でも大きな問題となっている。そして、これまで強化磁器食器のばらつきの大小に関して統計解析した報告はあるが、ロット内のばらつきの原因を詳細に検討した報告は、極めて少ない。

そこで、本研究では、同じロット内の試験体で衝撃エネルギーの低い強化磁器食器はその他の強化磁器食器と比べどう違うのか、衝撃試験前に磁器食器の形状、重量、

欠陥の有無を測定し、衝撃試験後に3次元データ検査ソフトによる解析を行うことで衝撃値のばらつきの主要因について検討を行った。

## 2. 実験方法

## 2.1 試験体の測定

試験に用いる強化磁器食器(以下、食器という。)は、一般的な形状で生産個数の多い食器を選定した。詳細を表1に示す。試験体の形状測定、欠陥観察としてマイクロフォーカスX線CTシステム(島津製作所製 inspeXio SMX-225CT)を用いた。

## 2.2 衝撃試験

衝撃エネルギーの測定は、JIS S 2402 強化磁器食器の縁部衝撃試験方法により行った。ハンマー質量を130g、後部支持具の開き角度120°の条件で実施した。

## 2.3 データ解析

マイクロフォーカスX線CTシステムを用いて得られた食器の3Dデータを3次元データ検査ソフトウェア(GOM Inspect、ジーオーエム社製)を用いて基準となる試験体と各試験体の比較照合を行った。基準となる食器の3Dデータは各試験体の中で衝撃値、重さが平均値に近く、照合した際に最も形状の誤差が小さい試験体とした。

表1 試験体の詳細

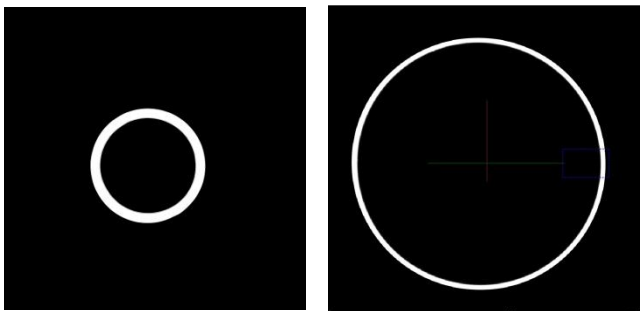
種類	直径(mm)	高さ(mm)	重さ(g)	試験体数(個)	衝撃エネルギーの 平均値(J)	変動係数 (標準偏差/平均値)
食器 A	約 139	約 59	185	5	0.24	0.11
食器 B	約 126	約 52	140	10	0.26	0.22
食器 C	約 144	約 60	217	10	0.52	0.25

\*1 瀬戸窯業技術センター セラミックス技術室

### 3. 試験結果及び考察

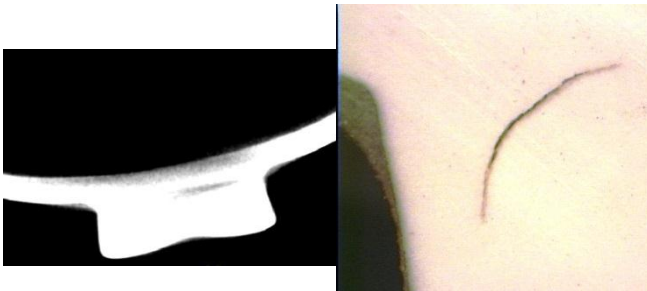
#### 3.1 試験体の欠陥観察

図1(a)及び(b)にマイクロフォーカス X 線 CT システムにより得られた食器 B のはま及び玉縁の CT 画像の一例を示す。図2(a)及び(b)にマイクロフォーカス X 線 CT システムにより食器内部のはまに観察された空隙及びその空隙部の破断面の写真を示す。衝撃エネルギーの異常値は、内部欠陥または、形状の歪みが主要因であると考えられる。食器に空隙が内在する場合、図2のように観察されその空隙の位置によっては衝撃エネルギーに多大な影響をもたらすが、本研究で用いた試験体 A、B、C の全ての試験体からどの CT 画像からも空隙、異物による色の变化等異常な箇所は見当たらなかった。



(a)はま (b)玉縁

図1 食器 B の CT 画像例



(a)CT 画像 (b)破断面

図2 はまの空隙部

#### 3.2 データ解析

図3に食器 A の衝撃エネルギーを示す。破壊確率は、破壊の起こりやすさであり、衝撃エネルギーが高くなることで試験体の破壊が起こりやすくなることを意味する。図4に衝撃試験により得られた測定値の低い値から順に 1、5 番目の試験体①、⑤と基準とした試験体③と比較照合した 3D データを示す。偏差/直径(%)は、基準とした試験体と比べてどれほどずれているのかを示し、着色されている部位のプラス側は、非常に厚いまたは、凸になっており、マイナス側は、非常に薄いまたは、凹になっていることを示す。図3の衝撃エネルギーの測定値から 5 個の試験体の平均値が 0.24J、標準偏差が 0.026、変動係数が 0.11、試験体①の測定値が 0.20J であることから試験体①の測定値は  $2\sigma$  の範囲内にあり、平均的な

ばらつきの範囲内にあることがわかる。図4から試験体①、⑤は、試験体③と比べどの箇所からも 0.4%以上の偏差がないことが分かった。CT 画像による欠陥も見当たらないことから材料の物性試験としてよく知られている試験体の寸法によるばらつきが小さいため衝撃エネルギーのばらつきも小さくなったと考えられる。

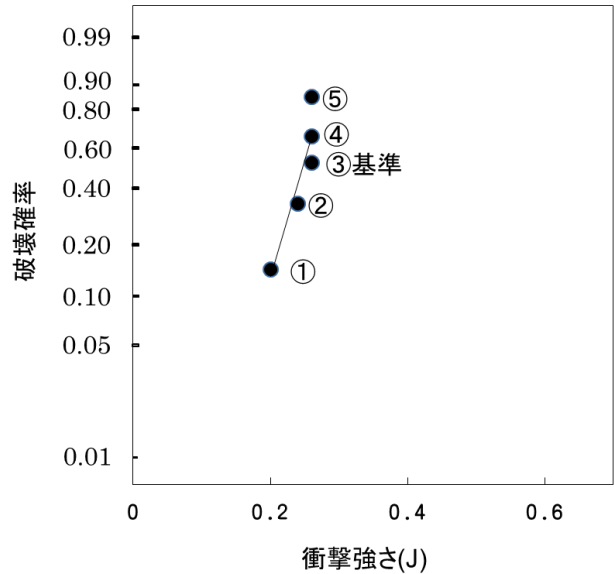


図3 食器 A の衝撃エネルギー

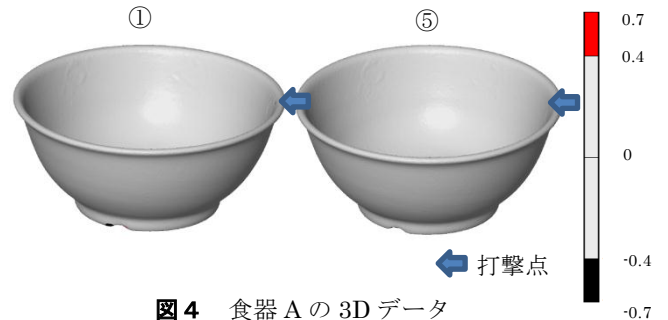


図4 食器 A の 3D データ

図5に食器 B の衝撃エネルギー、図6に衝撃試験により得られた測定値の最も低い試験体①と基準とした試験

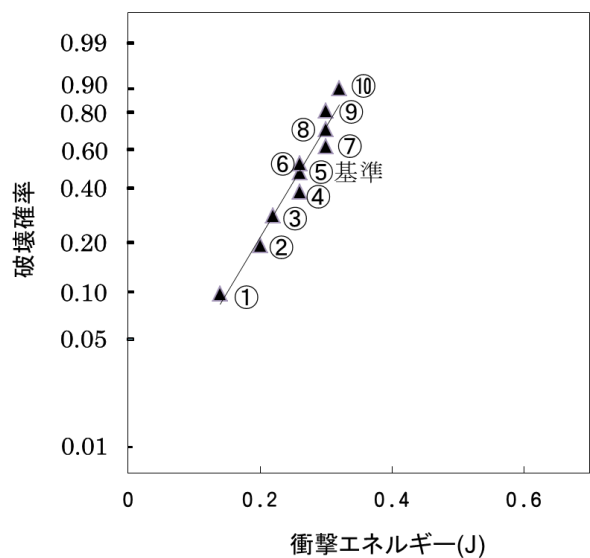
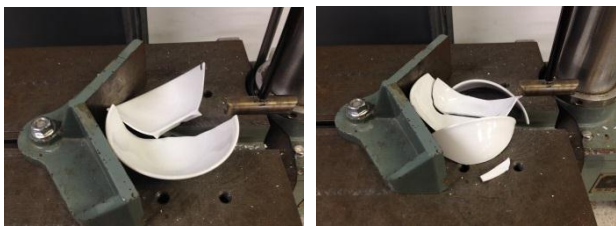


図5 食器 B の衝撃エネルギー

体⑤の衝撃試験後の破壊形態を示す。また、解析の例として図7に衝撃試験により得られた測定値の低い値から順に1、4、7、10番目の試験体①、④、⑦、⑩と基準とした試験体⑤と比較照合した3Dデータ、図8(a)及び(b)に試験体①の0.6%以上偏差のある箇所の拡大図及び試験体⑤と玉縁で比較照合した断面図を示す。図5の衝撃エネルギーの測定値から10個の試験体の平均値が0.26J、標準偏差が0.056で試験体①の測定値が0.14Jであることから試験体①の測定値は、 $2\sigma$ の範囲を超えており他の試験体に比べ著しく衝撃エネルギーが低い結果となった。また、図6の衝撃試験後の破壊形態が試験



試験体①

基準とした試験体⑤

図6 食器Bの衝撃試験後の破壊形態

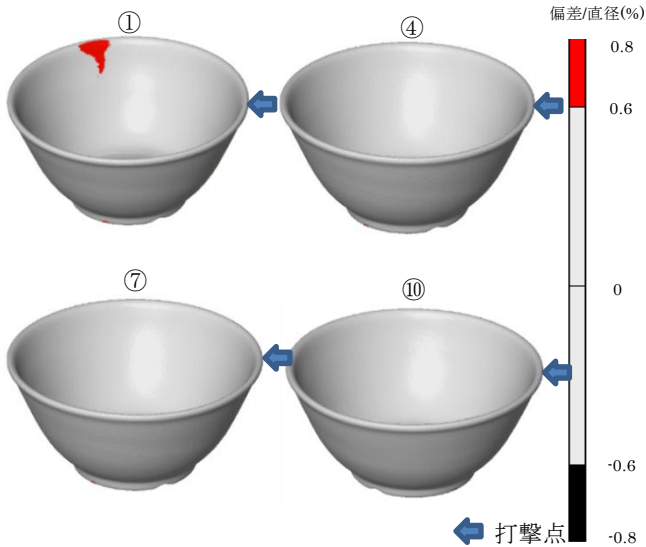
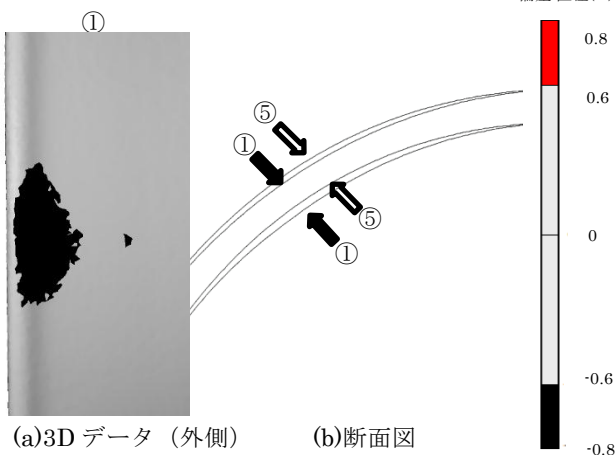


図7 食器Bの3Dデータ



(a)3Dデータ (外側)

(b)断面図

図8 食器Bの試験体①拡大図

体①と試験体⑤では大きく異なっている。これは、衝撃破壊では、通常外部から与えられるエネルギーが大きいほど割れは急速に分岐し破壊起点から放射状に多数の割れを発生することが知られており<sup>2)</sup>、試験体①には、強度劣化の要因となる大きな欠陥を有していることが示唆される。図7から試験体④、⑦、⑩は、試験体⑤と比べどの箇所からも0.6%以上の偏差がないことが分かった。CT画像による欠陥も見当たらないことから材料の物性試験としてよく知られている試験体の寸法によるばらつきが小さいため衝撃エネルギーのばらつきも小さくなったと考えられる。一方、試験体①の衝撃エネルギーは、著しく低く、図7、8から試験体①は玉縁周辺の一か所が0.6%以上内側に厚くなっており、外側は、0.6%以上薄くなっていることが示されていることから大きく歪んでいることがわかる。玉縁の形状は、衝撃エネルギーに大きな影響を及ぼすことは知られており、食器Aにおいては、その他の試験体に比べ玉縁が0.6%以上大きく歪んだことが衝撃エネルギーを著しく下げた要因であると考えられる。

図9に食器Cの衝撃エネルギー、図10に衝撃試験により得られた測定値の最も低い試験体①と基準とした試験体⑥の衝撃試験後の破壊形態を示す。また、解析例として図11に衝撃試験により得られた測定値の低い値から順に1、4、7、10番目の試験体①、④、⑦、⑩と基準とした試験体⑥と比較照合した3Dデータを示す。加えて、図12(a)及び(b)に試験体①、図13(a)及び(b)に試験体⑦の0.5%以上偏差のある箇所の拡大図及び試験体⑥と玉縁で比較照合した断面図を示す。図9の衝撃エネルギーの測定値から10個の試験体の平均値が0.52J、標準偏差が0.13で試験体①の測定値が0.20Jであることから試験体①の測定値は $2\sigma$ の範囲を超えており他の

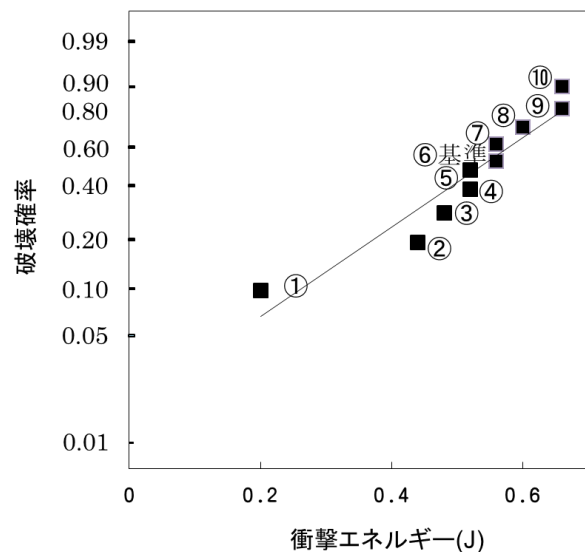


図9 食器Cの衝撃強さ測定値

試験体に比べ著しく衝撃エネルギーが低いことがわかる。また、図10の衝撃試験後の破壊形態が試験体①と試験体⑥では大きく異なっている。食器Bと同様に試験体①には衝撃エネルギーが著しく低い測定値で破壊したためであり、大きな欠陥を有していることが示唆される。図



試験体① 基準とした試験体⑥

図10 食器Cの衝撃試験後の破壊形態

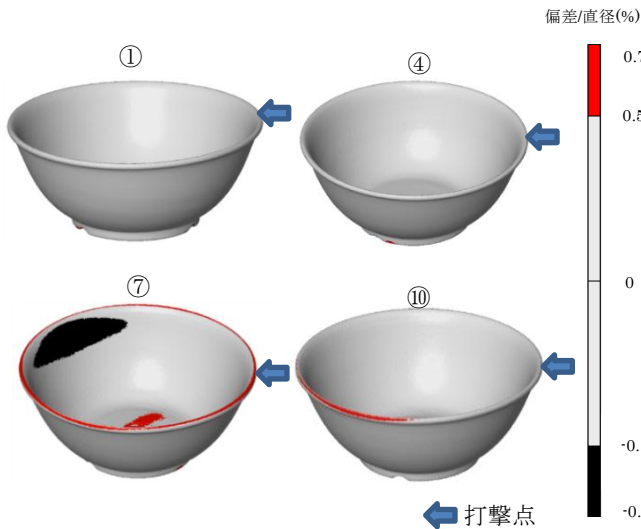


図11 食器Cの3Dデータ

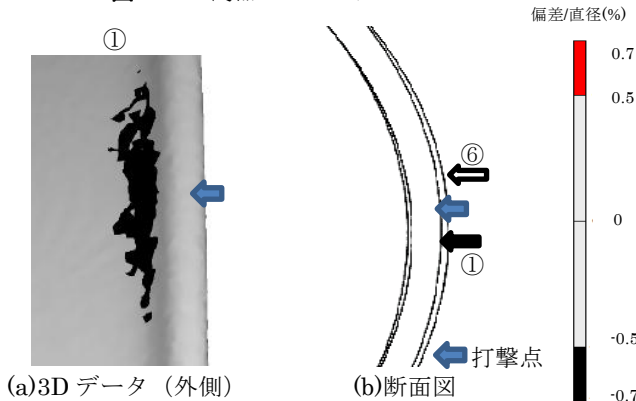


図12 食器Cの試験体①拡大図

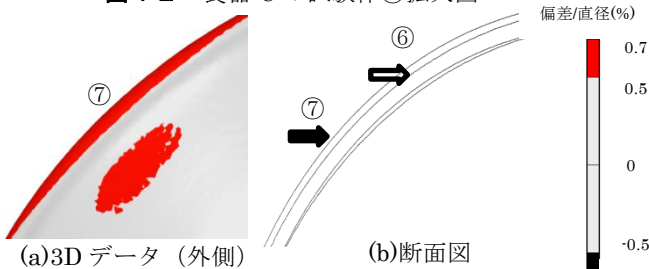


図13 食器Cの試験体⑦拡大図

11、12、13から試験体①、④、⑦、⑩の試験体からは、試験体④以外0.5%以上の偏差が内在していることが確認できた。また、図11、13から試験体⑦は、縁の内側の一部分が0.5%以上薄くなっている箇所があるが、玉縁が全周にわたって0.5%以上厚くなっており、図11から試験体⑩は、玉縁が0.5%以上の偏差がある箇所があるが、厚くなっているだけで歪んでいないことがわかった。一方、図11、12から試験体①は、ほとんど0.5%以下の偏差ではあるが、玉縁と縁の境目の箇所が0.5%以上薄くなっている。強化磁器食器の形状の違いによる衝撃エネルギーの傾向は、縁の厚さ以上に玉縁の大きさに影響があることが報告されており<sup>3)</sup>、試験体⑦は、基準となる試験体に比べ玉縁が厚くなっているために玉縁近傍や縁で薄くなっているにも衝撃エネルギーの低下が抑えられ、試験体⑩は、大きな歪みや薄くなる箇所がなく、玉縁が厚くなっていることから衝撃エネルギーが高くなったと考えられる。そして試験体①は、玉縁近傍で0.5%以上薄くなりかつ、打撃部に欠陥が存在したことが測定値を著しく低下させた大きな要因であることが考えられる。

#### 4. 結び

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 本研究で使用した強化磁器食器の衝撃エネルギーのばらつきは異物や空隙による欠陥ではなく、形状による要因が大きく影響することが明らかとなった。
- (2) 基準とした試験体を衝撃エネルギーと重量が平均値に近く、照合した際に最も形状の誤差が小さい試験体と比較照合した場合、0.5%以内の偏差であれば衝撃エネルギーのばらつきが小さいことがわかった。
- (3) 基準とした試験体と比べ、歪みがなく玉縁が厚い試験体では衝撃エネルギーが高くなることが確認できた。
- (4) 衝撃エネルギーが著しく低下する要因として、縁の素地の厚みが薄くなることより、玉縁近傍で0.5~0.6%以上の歪みや、薄くなることが大きな要因であることがわかった。
- (5) 本測定法を用いて形状及び内部欠陥を詳細に検討することで著しく衝撃エネルギーが低くなる製品の予測及び原因推定に期待できる。

#### 文献

- 1) N.Kamochi, H.Katsuki, T.Watari : *J. Ceram. Soc. Japan*, **117**, 724-728(2009)
- 2) 吉田：破断面の見方，(2005)，日刊工業新聞社
- 3) 蒲地：佐賀県窯業技術センター研究報告書，**363**，14-24(2009)