

## 技術資料

## 高加工用オーステナイト系抗菌ステンレス鋼NSS AM-4の開発

鈴木 聡\* 石井 勝己\*\* 平松 直人\*\*\* 宮楠 克久\*\*\*\*

## Development of NSS AM-4 Antimicrobial Austenitic Stainless Steel with Excellent Formability

Satoshi Suzuki, Katsumi Ishii, Naoto Hiramatsu, Katsuhisa Miyakusu

## Synopsis:

With the recent increase in outbreaks of infection by MRSA in hospitals and *Escherichia coli* O-157, sanitation is becoming a social concern of the utmost importance. In this situation, the market for antimicrobial goods in Japan is showing strong growth.

Taking this demand into consideration, we have developed the NSS AM series of antimicrobial stainless steels containing precipitated  $\epsilon$ -Cu in matrix, which gives these steels antimicrobial activity against various bacteria. NSS AM-3 antimicrobial austenitic stainless steel has been used for various applications such as sink tops because of its good formability and superior antimicrobial activity. However, NSS AM-3, which is a  $\gamma$ -stable steel, is not so suitable for applications such as sink bowls, because good forming property for deep drawing is indispensable for this application.

NSS AM-4 antimicrobial austenitic metastable- $\gamma$  stainless steel, which has excellent formability, has therefore been developed. With its better deep-drawing formability than NSS AM-3  $\gamma$ -stable steel, NSS AM-4 is expected to be used for many applications in various markets.

## 1. はじめに

MRSA (メチシリン耐性黄色ブドウ球菌) による院内感染や病原性大腸菌O-157による集団感染が社会的問題となり、食品業界や医療施設のみならず一般家庭に至るまで、衛生面への関心が急速に高まってきている。とくに食品分野では、HACCP<sup>1)</sup> システムの導入が浸透しつつあり、衛生管理のさらなる充実が進められている。このような動向に呼応し、各種の抗菌剤や抗菌商品が精力的に開発されている<sup>2)</sup>。

一方、抗菌関連商品の多様化にともない、比較的曖昧であった抗菌性の定義や基準の明確化が求められてきた。これに対応すべく、各種基準化に関する動きが活発化している<sup>3, 4)</sup>。たとえば、代表的な抗菌剤である銀ゼオライトなどのメーカーおよび官・学などの学識経験者により設立された「銀等無機抗菌剤研究会」<sup>3)</sup>を発展的に解消し、他

の抗菌剤や抗菌製品をも含めたメーカーが参画し、「抗菌製品技術協議会」<sup>4)</sup>が設立された。現在、本協議会により、抗菌材・製品の抗菌性に関する定義、評価基準および安全性に関する自主管理ガイドラインが整備されている<sup>4)</sup>。

当社においても、抗菌性発現に有効なCuをステンレス鋼中に含有させて、製造性と抗菌製品技術協議会のガイドラインに沿った抗菌性を兼備するフェライト系抗菌ステンレス鋼NSS AM-1 (LowC, N-17mass%Cr-1.5mass%Cu)、マルテンサイト系抗菌ステンレス鋼NSS AM-2 (0.3mass%C-13mass%Cr-3mass%Cu) およびオーステナイト (以下、 $\gamma$ と記す) 系抗菌ステンレス鋼NSS AM-3 (18mass%Cr-9mass%Ni-3.8mass%Cu) を開発し、ラインアップを整え、対応を図ってきた<sup>5), 6)</sup>。

これまでにNSS AMシリーズは、優れた抗菌性能が認知され、市場動向とあいまって、広範な用途に適用、採用されている。とくに $\gamma$ 系抗菌ステンレス鋼NSS AM-3は、優れた抗菌力と加工性を有するため、家庭用厨房機

\*ステンレス事業本部 ステンレス・高合金研究部材料第一研究チーム 主任研究員 \*\*人事部付 東北大学派遣

\*\*\*ステンレス事業本部 ステンレス・高合金研究部材料第一研究チーム チームリーダー

\*\*\*\*ステンレス事業本部 周南製鋼所 生産管理部品質保証チーム チームリーダー

器をはじめ、多様な用途に適用されている。しかし、NSS AM-3は $\gamma$ 安定系鋼であるため、たとえば既存鋼であるSUSXM7と同様に、一工程での絞り比が高いプレス成形性を要求される厳しい加工用途には適用できない場合があった。そこで、高加工用 $\gamma$ 系抗菌ステンレス鋼NSS AM-4を開発した。本報では、NSS AM-4の機械的性質、加工性および抗菌性について紹介する。

## 2. 製品設計の考え方

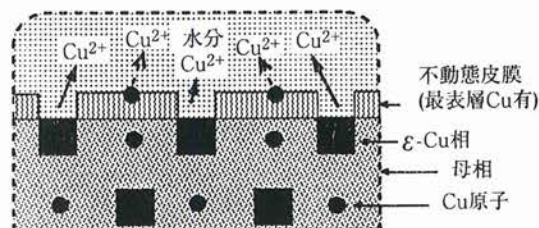
高加工用 $\gamma$ 系抗菌ステンレス鋼NSS AM-4の代表的な化学成分を表1に示す。穴抜け性、多段絞り性などの2次加工性および耐時期割れ性を向上させるためにLowC、Nとした。さらにTRIPによる延性の向上を図るべく $\gamma$ 準安定系鋼とし、17mass%Cr-8mass%Niをベースに3.8mass%Cuを含有させている。抗菌性と製造性を両立させ得る適正なCu量を含有させており、さらに安定した抗菌性を発現させるため、 $\epsilon$ -Cuを析出させる熱処理を施している<sup>5), 6)</sup>。

NSS AMシリーズの抗菌性作用の推定原理を模式的に図1に示す<sup>6)</sup>。本シリーズ鋼は、熱処理により $\epsilon$ -Cu

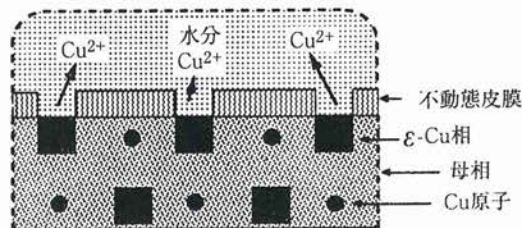
表1 NSS AM-4の化学成分例(mass%)

Table 1 Chemical compositions of NSS AM-4(mass%).

鋼 種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
NSS AM-4	0.02	0.3	1.4	7.6	16.8	3.8
NSS AM-3 (比較)	0.04	0.5	1.4	9.0	18.0	3.8



a) 抗菌ステンレス鋼 BA, 2D仕上



b) 抗菌ステンレス鋼 研磨仕上

図1 抗菌作用の原理(模式図)

Fig. 1 Schematic view of principle of antimicrobial stainless steel function.

a) BA and 2D finish b) Polish

を均一分散析出させている。したがって、図1(a)に示すように、BA、2D仕上等の製品表面には $\epsilon$ -Cuが露出しており、この $\epsilon$ -Cuの上には不動態皮膜は形成されず、表面の水分中へのCuイオンの溶出が容易になる。さらに、 $\epsilon$ -Cuが均一に分散した組織を有するため、図1(b)に示すように、表面を研磨した場合であっても、新生面の表層に $\epsilon$ -Cuが露出し、抗菌性を発現することが可能となる。

## 3. 試験方法

硬さ試験、引張試験は、それぞれJISZ2244およびJIS 2241に規定される方法で実施した。また、引張速度を20 mm/min (歪速度 $6.7 \times 10^{-3}/s$ ) として、n値および応力ひずみ曲線を測定した。

板厚0.7mmのBA材の圧延方向に直角な方向が長手方向になるようにサンプルを採取して、平面ひずみ変形能および縮みフランジ変形能を測定した。平面ひずみ変形試験では、長手方向中心位置の両端に半径5mmの切り欠きを付けた幅30mm、長さ130mmの試験片を用い、速度40mm/minで破断するまで引張った。縮みフランジ変形試験では、JIS13B号試験片を、速度40mm/minで引張った。いずれも、長手方向中心位置に記した $\phi 10$ mmのスクライブドサークルの引張方向ひずみ $e_x$ とこれに直角な方向の変形ひずみ $e_y$ を測定した。

$\gamma$ 安定度は、幅20mm、長さ110mmの短冊状試験片を、5 mm/min (歪速度 $1.7 \times 10^{-3}/s$ ) の速度で引張りひずみを付与したときの加工誘起マルテンサイト( $\alpha'$ )量により評価した。 $\alpha'$ 量は振動磁力計により測定した<sup>7)</sup>。

張出し性の評価は、JISZ2247に規定されるエリクセンB法により実施した。深絞り性は、限界絞り比(LDR)により評価した。 $\phi 76 \sim \phi 84$ mmの円板形状試験片を外径 $\phi 40$ mmのポンチ、内径 $\phi 42$ mmのダイスを用いて、しわ押え力9807N、ポンチ速度20mm/minにてカップ成形した。 $\alpha$ 破断の生じない最大の円板径をポンチ径で除した値を限界絞り比とした。

複合成形性は、複合成形限界絞り比(ODR)およびその成形高さにより評価した。 $\phi 90$ mmの円板形状試験片を、外径 $\phi 40$ mmのポンチを用いて、60mm/minの速度で深絞り成形を行い、 $\alpha$ 破断が生じた時点で成形を停止した。このときのフランジ径を、ブランク径で除した値をODR値とした。同時に、このときの成形高さを限界絞り高さとした。

時期割れ限界絞り比は、多段絞りにより評価した<sup>8)</sup>。 $\phi 70$ mm $\sim \phi 82$ mmの円板形状試験片を、1段目から3段目まで、速度150mm/minの速度で絞り抜いた。 $\alpha$ 破断せず、さらに24h経過後に時期割れが生じない、最大の円板径を成形可能な最小ポンチ径で除した値を時期割



れ限界絞り比とした。

穴拡げ性は、2つの試験方法により評価した。円錐ポンチによる穴拡げ試験では、90mm角の試験片中心部に内径 $\phi 10$ mmの打抜き穴を形成して供試材とした。打抜きによりかえりが生成する試料面をポンチ側として、頂角 $30^\circ$ の円錐ポンチにより5 mm/minの速度で穴拡げを行った。平頭ポンチによる穴拡げ試験では、直径 $\phi 80$  mmの試験片中心部に内径 $\phi 20$ mmの打抜き穴を形成して供試材とした。打抜きによりかえりが生成する試料面をポンチ側として、 $\phi 50$ mmのポンチにより5 mm/minの速度で穴拡げを行った。いずれの試験においても、試料のせん断端に割れが認められた時点で穴拡げを停止した。円錐ポンチによる試験では、試験前の穴径に対する試験後の穴径の比を穴拡げ比とした。一方、平頭ポンチによる試験では、試験前穴径に対する試験後の穴径の増分を穴拡げ率とした。

抗菌試験は、抗菌製品技術協議会の標準試験方法であるフィルム密着法<sup>4)</sup>により、BA仕上材および#400手研磨仕上材について実施した。代表的なグラム陰性菌である大腸菌、および代表的なグラム陽性菌である黄色ブドウ球菌を試験菌とし、抗菌無加工品としてSUS304を用いた。

キャス試験は、JISH8502に準拠し、氷酢酸および塩化第二銅を添加した食塩水の連続噴霧環境下での発錆状況により評価した。

表2 NSS AM-4の機械的性質(BA仕上, 板厚0.8mm)

鋼 種	0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	硬さ (HV10)
NSS AM-4	225	529	59	124
NSS AM-3	362	615	42	167
SUS304	311	663	57	169

※引張方向は圧延に直角な方向

## 4. 製品特性

### 4.1 機械的性質

NSS AM-4, NSS AM-3およびSUS304の板厚0.8 mm, BA仕上材の機械的性質を表2に示す。NSS AM-4は、固溶強化元素であるCおよびN量が低いため、NSS AM-3およびSUS304に比べ、耐力ではそれぞれ約140N/mm<sup>2</sup>および約90N/mm<sup>2</sup>低い値を、硬さではいずれに対しても約40HV低い値を示す。破断伸びは、NSS AM-3に対し伸び値で15ポイント高い59%を示し、SUS304とはほぼ同等の値を示す。

引張ひずみと加工誘起マルテンサイト ( $\alpha'$ ) 量の関係を図2に示す。NSS AM-4の $\alpha'$ 量は、SUS304に比べ、引張ひずみで約45%まで同等の生成量を示し、引張ひずみ60%では約2%高い生成量を示す。

ここで、準安定 $\gamma$ 系ステンレス鋼における $\alpha'$ 生成挙動

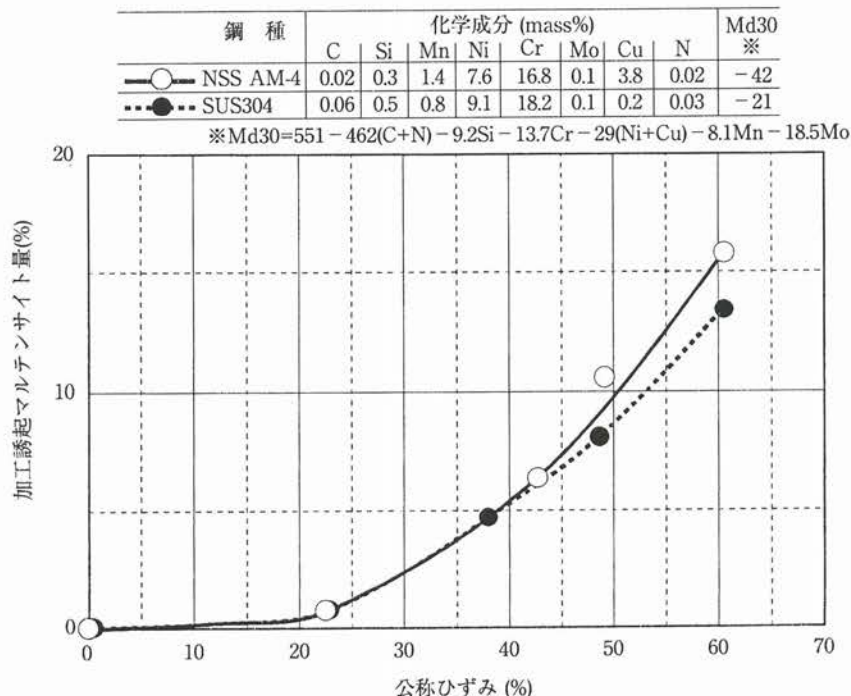


図2 引張ひずみと加工誘起マルテンサイト量の関係

Fig. 2 Amount of  $\alpha'$  phase induced by tensile strain of NSS AM-4 and SUS304.

の指標としてMd30<sup>9)</sup>が挙げられる。Md30は、次の成分回帰式で表される。

$$\text{Md30} = 551 - 462(\text{C} + \text{N}) - 9.2\text{Si} - 8.1\text{Mn} \\ - 29(\text{Ni} + \text{Cu}) - 13.7\text{Cr} - 18.5\text{Mo}$$

Md30は、焼鈍により得られる $\gamma$ 単相の試料において、0.30の引張真ひずみ（公称ひずみ35%）を加えたときに体積率で50%の $\alpha'$ 相が生成する試験温度と定義される。したがって、Md30値により、 $\gamma$ 系ステンレス鋼の $\alpha'$ 生成挙動を化学成分から推定することが可能である。

本試験に供したNSS AM-4のMd30値は $-42^{\circ}\text{C}$ であり、SUS304の $-21^{\circ}\text{C}$ に比べ $21^{\circ}\text{C}$ 低い値を示す。したがって、Md30値からは、NSS AM-4はSUS304に比べて $\gamma$ 相がより安定であることが推定されるが、 $\alpha'$ 生成量が同等であった本検討結果と異なる。これは、 $\varepsilon$ -Cuの析出処理により、母相へのCu固溶量は含有量に比べ減少しているが、成分回帰式にはCu含有量値を入れて計算しているため、Md30値が実測した $\alpha'$ 生成挙動よりも安定な値を示しているためと考えられる。

本検討による $\alpha'$ 生成挙動から、NSS AM-4は、一般的なSUS304の $\alpha'$ 生成量とほぼ同等であり、従来から

SUS304が使用されている加工用途に適用する上では、加工後の磁性はほぼ同等であると推定される。

## 4.2 成形性

NSS AM-4の板厚0.8mm、BA仕上材の模型成形性を表3に示す。n値は、NSS AM-3に比べて高く、SUS304に比べ低い値を示す。また張出し性の指標であるエリクセン値、深絞り性の指標である限界絞り比(LDR)は、NSS AM-3およびSUS304とほぼ同等の良好な値を示している。とくに時期割れ限界絞り比、打抜き穴の穴抜け比は、SUS304に比べ優れており、これらの成形性に優れたNSS AM-3と同等以上の値を示す。

時期割れは、 $\gamma$ 系ステンレス鋼を強加工後、数時間から数日経過後に、割れを生ずる現象であり、 $\alpha'$ 相の生成により器物内部で残留応力が生成することに起因する破壊現象である。NSS AM-4は $\alpha'$ 相の強度が低いため、加工後の残留応力が低く、時期割れを生ずる限界の絞り比が高いと考えられる。

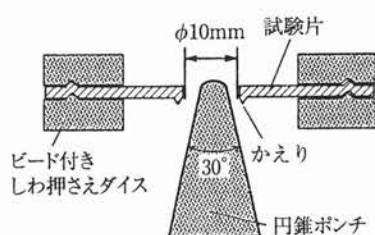
NSS AM-4の板厚0.7mm、BA仕上材の平面ひずみ変形および縮みフランジ変形による破断ひずみ測定結果

表3 模型成形性

Table 3 Formability of NSS AM-4, NSS AM-3 and SUS304.

鋼 種	加工硬化指数 :n値	引出し性 :エリクセン値	穴抜け比 (打抜き穴)	限界絞り比 :LDR	時期割れ 限界絞り比
NSS AM-4	0.39	B13.7	0.8	2.1	3.1以上
NSS AM-3	0.36	B12.8	0.6	2.0	2.9
SUS304	0.48	B13.0	0.5	2.0	2.4~2.9

※1 穴抜け比の試験方法

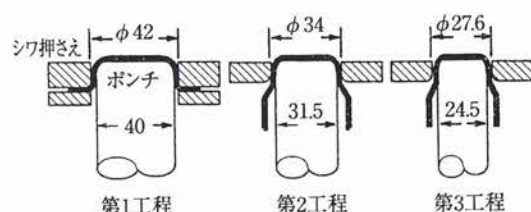


付表1 穴抜け試験片と試験条件

Appendix table 3 Conditions for the stretch-flanging test.

試験片	外寸(mm)	0.7T×90W×90L	
	打抜き穴	寸法(mm)	φ10
		条件	
試験条件		ポンチ速度	5mm/min
		しわ押え力	44130N

※2 時期割れ限界絞り比の試験方法



付表2 多段絞り試験における円板径と絞り比の関係  
Appendix table 2 Drawing ratio for deep drawing test.

円板径 (mm)	ポンチ 径(mm)	絞り比=(円板径)/(ポンチ径)		
		第1工程	第2工程	第3工程
		40.0	31.5	24.5
64		1.60	2.03	2.61
70		1.75	2.22	3.35
76		1.90	2.41	3.10
82		2.05	2.60	2.86



を図3に示す。これらの変形能は、そのひずみ経路による差異を考慮する必要があるが、概して、プレス成型に対応させると、平面ひずみ変形はポンチ肩部の変形様式に、縮みフランジ変形はダイス肩部における変形様式にそれぞれ相当する<sup>10)</sup>。NSS AM-4はSUS304と比べ、同等の縮みフランジ変形能を示すものの、平面ひずみ変形能はわずかながら低い傾向を示す。したがって、SUS304に比べ軟質であることを勘案すると、現行素材としてSUS304を使用しているプレス素材に本鋼を適用する場合には、しわ押え圧を低減してフランジからの材料流

入を促進することにより、ポンチ肩部での $\alpha$ 破断を防止するなど、加工条件の調整が必要となる場合もあると考えられる。

NSS AM-4の板厚0.8mm、BA仕上材の複合成形限界絞り比 (ODR) を図4に示す。ODRは、限界絞り比 (LDR) 以上の素板を絞り、フランジを大きく残した場合に、ポンチ肩部で破断する ( $\alpha$ 破断) 時の、ポンチ径に対する素板外径の比で表され、深絞り性と張出し性を複合させた成型性指標である。したがって、ODR値が低い素材ほど、成型性は良好である。NSS AM-4は、SUS304

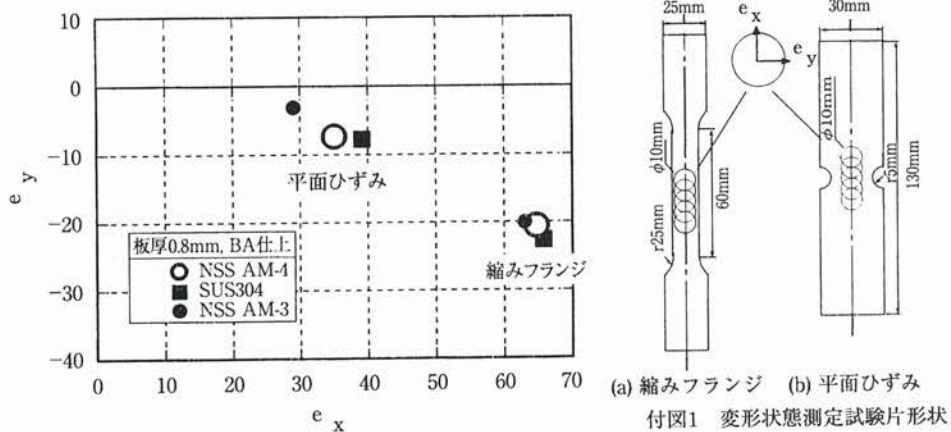


図3 平面ひずみ変形および縮みフランジ変形における破断ひずみ

Fig. 3 Elongation of NSS AM-4 and SUS304 on plane strain and cavitate fringing strain.

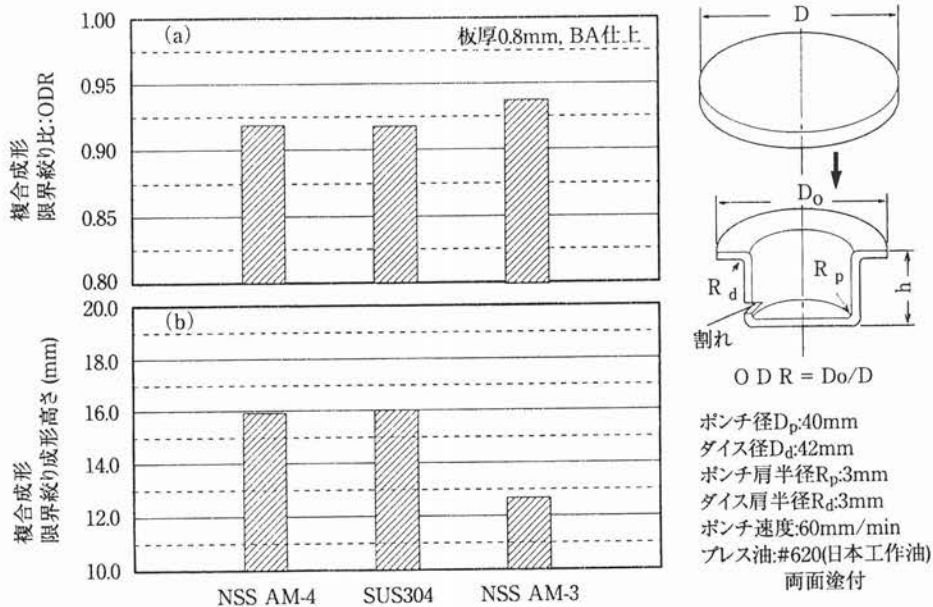


図4 複合成形限界絞り比:ODRと成形高さ

Fig. 4 Outer diameter ratio and limit of forming height.

とはほぼ同等で、NSS AM-3に対して、約0.02低い良好なODR値を示す。このときの絞り高さと比較すると、NSS AM-4は、SUS304と同等で、NSS AM-3に比べ約3.3mm高い良好な値を示す。

NSS AM-4の板厚0.8mm、BA仕上材の平頭ポンチによる穴抜き試験結果を図5に示す。NSS AM-4は、SUS304およびNSS AM-3に比べ、穴抜き率でそれぞれ10%および4%高く、穴抜き高さでは、1.2mmおよび0.4mm高い値を示す。したがってNSS AM-4は、シンクボール底穴の張出し成型等、 $\gamma$ 系ステンレス鋼の成形で課題となるバーリング加工に優れた特性を示す。

#### 4.3 抗菌性

NSS AM-4のBA仕上材および#400手研磨仕上材の黄色ブドウ球菌および大腸菌に対する抗菌試験結果を、表4に示す。大腸菌および黄色ブドウ球菌いずれに対しても、抗菌無加工素材であるSUS304と比べて、24h後の生菌数が2桁以上減菌しており<sup>4)</sup>、優れた抗菌性を示している。

#### 4.4 耐食性

NSS AM-4/#240研磨仕上材のキャス試験312h経過後の外観を図6に示す。発錆は認められず、同時比較し

たSUS304と同等の耐食性を示す。

#### 4.5 適用例

NSS AM-4の家庭用シンクボール部材（サンウエーブ工業株式会社）への適用例を図7に示す。システムキッチン的高级化指向にともない、シンクボールにもデザインの多様性と付加価値が求められている。本鋼は、デザインの多様化へ対応可能な成形性を有し、さらに、抗菌性という付加価値を有するシンクボール素材として、高級システムキッチンに採用された。なお、本システムキッチンでは、既にNSS AM-3がシンクトップ用材に、NSS AM-1が水切りプレート用材として使用されている。

### 5. まとめ

成型性と抗菌性に優れた高加工用 $\gamma$ 系抗菌ステンレス鋼NSS AM-4(LowC, N-17mass%Cr-8mass%Ni-3.8mass%Cu)を開発した。本鋼は、これまでに開発したNSS AMシリーズと同様、 $\epsilon$ -Cuを均一析出処理させることにより、優れた抗菌性を発現する。さらに、SUS304と同等の張り出し性、深絞り性を有し、かつ、SUS304に比べて優れた耐時期割れ限界絞り比、打抜き穴のバーリング性

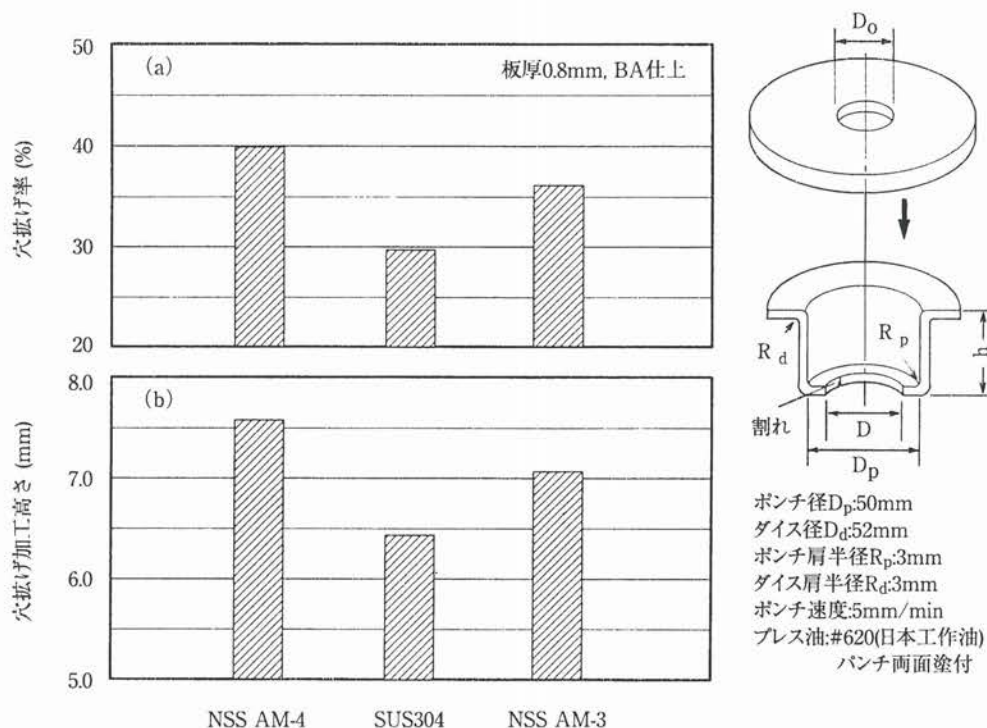


図5 平頭ポンチによる穴抜き率と成形高さ

Fig. 5 Stretch flanging ratio and limit of forming height.



有する。現在、システムキッチンのシンクボール用素材として採用されており、今後、抗菌性に加え、高い加工性が求められる用途への適用が期待される。

なお、本鋼の加工性を評価するにあたり、当社 技術研究所 加工技術研究部 加工第三研究チームのご協力を頂いた。紙面を借りて謝意を表する。

表 4 NSS AM-4の黄色ブドウ球菌、大腸菌に対する抗菌試験結果

Table 4 Results of antimicrobial activity of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* for BA finished NSS AM-4.  
(Testing method: film capped test)

菌種	鋼種	仕上	試験開始時生菌数(A)		24h後生菌数		抗菌無加工品24h後生菌数に対する増減値差(logC/D)
				平均		平均	
黄色ブドウ球菌	NSS AM-4	BA	$2.3 \times 10^5$ , $1.8 \times 10^5$ , $2.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5$	<10, <10, <10	<10 (D)	5.1
		#400手研磨			770, 510, 400	560 (D)	3.4
	SUS304 (抗菌無加工品)	BA			$1.4 \times 10^6$ , $1.3 \times 10^6$ , $1.5 \times 10^6$	$1.4 \times 10^6$ (C)	—
	対照 (ポリエチレンフィルム)	—			$9.4 \times 10^4$ , $9.1 \times 10^4$ , $7.5 \times 10^4$	$8.7 \times 10^4$ (B)	—
大腸菌	NSS AM-4	BA	$2.4 \times 10^5$ , $2.6 \times 10^5$ , $2.3 \times 10^5$	$2.4 \times 10^5$	<10, <10, <10	<10 (D)	6.0
		#400手研磨			$5.8 \times 10^4$ , $1.4 \times 10^3$ , $1.1 \times 10^5$	$5.6 \times 10^4$ (D)	2.2
	SUS304 (抗菌無加工品)	BA			$9.5 \times 10^6$ , $7.8 \times 10^6$ , $1.1 \times 10^7$	$9.4 \times 10^6$ (C)	—
	対照 (ポリエチレンフィルム)	—			$1.2 \times 10^7$ , $9.7 \times 10^6$ , $9.3 \times 10^6$	$1.0 \times 10^7$ (B)	—

注) 24時間後の生菌数で<10の表示は生菌が検出されないことを示す。

参考) 以下、抗菌製品技術協議会 抗菌製品の抗菌力評価試験法「抗菌製品の抗菌力評価試験法 I (1998年度版)」「フィルム密着法」より抜粋。

#### 1. 試験成立条件

1) 試験開始時および24h後対照の各3個の生菌数について、次式における計算を行い、その値が0.2以下であること。

$$[(\text{最高対数値}) \cdot (\text{最低対数値})] / (\text{対数平均値})$$

2) A (試験開始時の平均値) に対する B (24h後の対照の平均値) の減少率が90%以下であること。

$$[(A-B)/A] \times 100 \leq 90$$

3) 試験開始時の各3個の生菌数について、それらの平均値が $1.0 \sim 5.0 \times 10^5$ /枚の範囲にあること。

4) 抗菌無加工試験片 (SUS304) の各3個の24h後の生菌数がすべて $1.0 \times 10^3$ /枚以上であること。

#### 2. 試験結果の表示

次式により増減値差を計算し、小数点以下2桁目を切捨て、小数点以下1桁に丸めて表示する。

$$[\log(C/A) - \log(D/A)] = \log(C/D)$$

ただし A: 試験開始時の生菌数

C: 抗菌無加工試験片 (SUS304) 24h後の生菌数

D: 試験片24h後の生菌数、なお<10の場合は10として計算した。

#### 3. 抗菌性の評価基準 (当社基準)

無加工品に対し、2桁以上減菌する場合、抗菌効果ありと判定。

・試験依頼先 財団法人 日本食品分析センター

試験成績書発行番号第400010075-002号, 第400020148-001号

試験成績書発行年月日 平成12年3月3日, 平成12年3月8日



図 6 キヤス試験312h経過後の#240研磨仕上試験片の外観

Fig. 6 Appearance of #240 polish finished test pieces after CASS testing (312h).

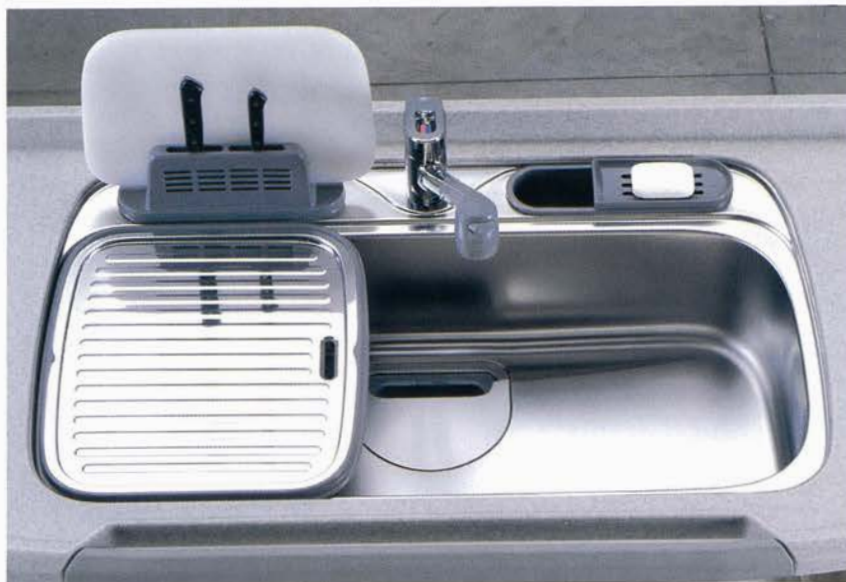


図7 NSS AM-4の適用例  
Fig. 7 Example of application of NSS AM-4.

#### 参考文献

- 1) 河端俊治, 春田三佐夫: HACCPこれからの食品工場の自主管理, 中央法規出版, (1994), 11.
- 2) 弓削 治, 横山 浩, 坂上 吉一: 抗菌のすべて, (株)繊維社, (1997), 515.
- 3) 富岡敏一: J. Antibact. Antifung. Agents, 27 (1999), 641.
- 4) 山本則幸, 加藤秀樹: J. Antibact. Antifung. Agents, 26 (1998), 581.
- 5) 長谷川守弘, 宮楠克久, 大久保直人, 中村定幸, 棟居義雄: 日新製鋼技報, 76 (1997), 48.
- 6) 大久保直人, 中村定幸, 山本正人, 宮楠克久, 長谷川守弘: 日新製鋼技報, 77 (1998), 69.
- 7) 星野和夫, 伊東健次郎, 小松歳弘: 日新製鋼技報, 29 (1973), 659.
- 8) 星野和夫: 鉄と鋼, 63 (1977), 99.
- 9) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 鉄と鋼, 63 (1977), 212.
- 10) たとえばプレス絞り加工, 日本塑性加工学会編, コロナ社, (1994), 16.