

おいしさと品質を守る 高耐食ステンレス鋼

食品の製造プラントに使われる材料には、強い塩分などの過酷な環境に耐えられる特性が求められる。おいしさを作る現場で重要な役割を果たす高耐食ステンレス鋼に注目する。

高耐食ステンレス鋼が使われた醤油もろみタンク（写真提供：ヤマサ醤油（株））

江戸時代からの醤油の町、銚子

千葉県銚子市は、江戸時代から醤油づくりが盛んな町として知られている。銚子は太平洋に突き出た半島で、寒暖の差が少なく多湿な海洋性気候である。そのため、醤油の醸造に欠かせない麹菌が働くのに適していると言われる。

銚子が江戸時代に醤油醸造の一大拠点になった大きな理由は、利根川にもある。徳川家による「利根川東遷」事業の結果、銚子は1654年に利根川の河口となった。これにより、江戸と銚子は水路で結ばれることになり、利根川を使った水運が始まった。銚子の醤油醸造元は、重い醤油樽を船で運び、江戸で醤油を売りさばき、帰りの船で醤油の原料である塩を千葉・行徳、大豆と小麦は利根川流域で調達するという製造、配送、販売、消費の流れを作り上げた。江戸時代の後期には、銚子では多くの醤油醸造元が醤油を生産し、江戸の食文化を支える重要な役割を果たした。

今回は、銚子で約380年にわたり醤油づくりの伝統を守るヤマサ醤油（株）を訪ね、醤油製造と設備の重要性についてお話を伺った。

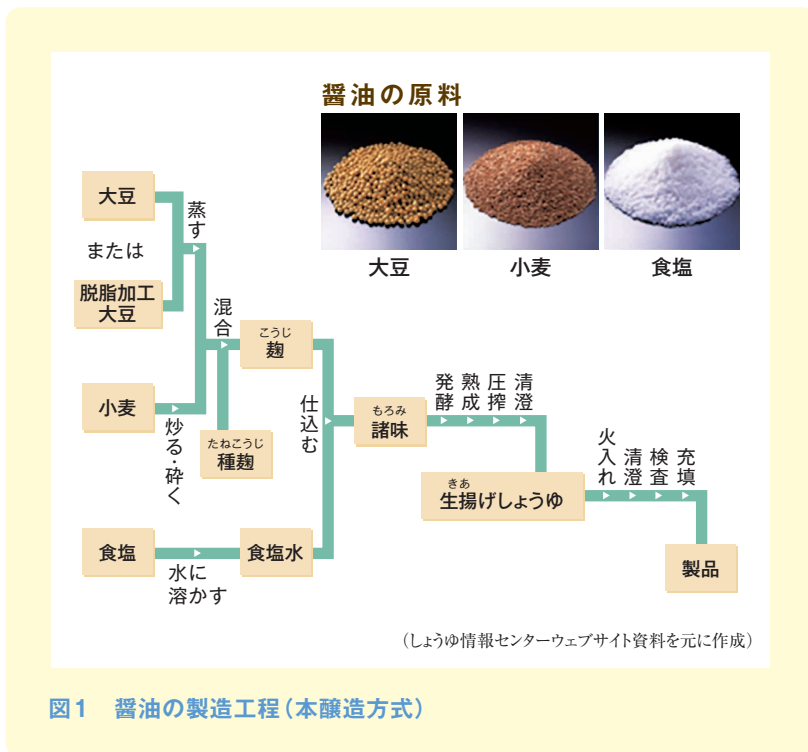
醤油の味を左右する仕込み工程

古くから日本各地で生産されてきた醤油は、各地独特の嗜好や醸造の歴史などにより、さまざまな個性を持っている。日本農林規格（JAS）では、「こいくち」「うすくち」「たまり」「さいしこみ」「しろしょうゆ」の5つに分類されている。

このうち、こいくちしょうゆは全国の醤油出荷量の8割以上を占める、一般的なしょうゆである。塩味のほかに、深いうま味、まろやかな甘味、さわやかな酸味、味をひきしめる苦味を合わせ持っている。



◀ 明治時代まで仕込みに使われていた桶。長年にわたって改良されてきた微生物がしみこんでおり、こだわりの醤油を製造していた（ヤマサ醤油（株）本社工場見学センターで展示）。



▲色、味、香りにこだわった醤油



▲仕込みのようす(屋内タンクの場合)

こいくちしょうゆの伝統的な製造方法は、「本醸造方式」と呼ばれる(図1)。

最初の「原料処理工程」では、蒸した大豆と炒った小麦をほぼ等量混合し、種麹を加え、食塩水を加える。次の「発酵、熟成工程」では、原料をタンクに仕込んで「もろみ」をつくり、何度か攪拌を重ねながら数カ月間ねかせる。この間に麹菌や酵母、乳酸菌などが働いて分解・発酵が進み、さらに熟成されてしょうゆ特有の色・味・香りが生まれる。その後「圧搾工程」「加熱殺菌工程」「瓶詰、出荷工程」を経て、醤油が完成する。

このうち「発酵、熟成工程」は、麹を食塩水と一緒にタンクに仕込んでもろみを作る工程で、「仕込み」とも呼ばれる。

もろみタンクは高さ約18 mの円筒状をしており、内層のもろみタンク本体、水冷ジャケット、外装の3層の構造をしている。もろみタンクの大きいものでは、タンク内に約390 kLのもろみが貯蔵される。

もろみタンクの中では、麹菌が作った酵素や乳酸菌や酵母などの微生物の働きにより、数か月かけて分解と発酵が進行する。この間に、醤油にとって大切な味や色、香りの素が次々と作られる。この工程では時々攪拌を行い、もろみの中に新鮮な空気を入れて、微生物が働きやすい環境を整えている。

腐食環境に対応できるタンク材料

もろみタンクの中の食塩水は、塩味を付けるだけでなく、もろみを雑菌から守る役割を果たす。もろみの塩分濃度は16~18%程度だが、この濃度が酵母と乳酸菌の働きを促してバランスの良い味を作り出し、また耐塩性の酵母が活動することにより醤油独特の香りを作り出される。

塩分が多いもろみタンク内のpHはおよそ4.5~5.0であり、麹菌の活動を活発にするために空気が吹き込まれていっそう厳しい腐食環境となり、孔食やすきま腐食などの局部腐食を生じやすくなる。

江戸から明治時代にかけて、仕込みでは木製の桶が使われていた。桶には、長年にわたって改良されてきた微生物がしみこんでおり、それぞれの醸造元が独自の色、味、香りを作り出していた。その後大正時代にはコンクリートタンクが使われるようになり、1960年代以降に鉄製タンクが登場した。食品にも安全なエポキシ樹脂をタンク内面にコーティングした鉄製タンクは、耐食性に優れ、もろみタンク以外の工程の容器でも多く使われるようになった。その後タンクの大型化が図られ、タンクは屋内だけでなく屋外にも設置されるようになった。しかし、もろみタンクの腐食環境では、鉄製タンクにはコーティング補修などの定期的なメンテナンスが不可欠という課題があった。



孔食やすき間腐食などの問題はまったくないことが実証された。

図2 運用後20年以上経過したタンク内面(SUS836L)の様子

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
規格値 (SUS 836L)	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	24.00~ 26.00	19.00~ 24.00	5.00~ 7.00	≤0.25
参考 (SUS 304)	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00~ 10.50	18.00~ 20.00	—	—

表1 もろみタンクに使われたSUS836L (日本冶金工業(株)鋼種NAS254N)の化学成分

ヤマサ醤油(株)では「100年長持ちするタンクを作りたい」との考えから、2002年に業界に先駆けて高耐食ステンレス鋼製のタンクを導入した。使用材料は、極めて耐食性に優れた、いわゆるスーパーステンレス鋼のSUS836L(表1)などである。この材料は、例えば、海水のような苛酷な環境でも優れた耐食性を有し、環境によってはニッケル合金や純チタンの代替ができる特性を発揮する。

もろみタンクのような大型構造物は鋼板を溶接して製作するが、ステンレス鋼の溶接部は耐食性が劣化しやすいという問題があった。そこでステンレス鋼の耐食性を維持しつつ、現地溶接も可能な溶接条件が適用された。

先ごろ運用開始から20年が経過し、SUS836Lのもろみタンクの内部状況の検査が行われた。その結果、孔食やすき間腐食などの問題はまったくなく、スーパーステンレス鋼の優れた耐食性が実証された(図2)。

高耐食ステンレス鋼の特徴と種類

ステンレス鋼は、「クロムを10.5%以上含む特殊鋼」と定義されているが、JISでは約90種類のステンレス鋼が規格化されており、開発鋼種を含めると200種類にも達するといわれる。

ステンレス鋼の中でも、とくに耐食性に優れた鋼種は高耐食ステンレス鋼と呼ばれる(詳細は連携記事参照)。

高耐食ステンレス鋼は、SUS304、SUS316などの一般的なステンレス鋼に比べ、孔食、すき間腐食、応力腐食割れ、酸による全面腐食などに対し、優れた耐食性を示す。化学成分では、耐食性の向上に有効なクロム、モリブデン、ニッケル、銅、窒素などの含有量が高い(ニッケルと窒素はオーステナイト系の場合)。

代表的な高耐食ステンレス鋼には、オーステナイト系と二相系がある。高耐食ステンレス鋼に分類されるSUS312LやSUS836L(表2)などはオーステナイト系、SUS329J3LやSUS329J4Lは金属組織中にオーステナイト相とフェライト相が混在する二相系である。

材料の耐食性を表す指標に、PRE (Pitting Resistance Equivalent: 孔食指数)がある(図3)。これは耐孔食性、耐すき間腐食性を判断する指標であり、この数値が高いほど耐食性が高いとされる。

なお、高耐食ステンレス鋼の中で、耐食性の向上に有効なクロム、ニッケル、モリブデン、窒素などの含有量を高めてPREが40を超えるものは「スーパーステンレス鋼」と呼ばれる(JISでは明確な分類はない)。

用途分野	用途例
海水環境	海洋構造物、海水淡水化装置、海水使用熱交換器、コンデンサーチューブ
化学プラント	PC 製造プラント、ビスフェノール A 製造プラント、カーボンブラック製造プラント
パルプ製紙プラント	各種漂白装置、スクラパー
医薬品プラント	遠心分離器、反応槽
食品プラント	醤油もろみタンク、塩みりんタンク、ドレッシング製造装置、製塩プラント
公害防止装置	火力発電所排煙脱硫装置

表2 SUS836Lの主な用途 (日本冶金工業(株)ウェブサイトより)

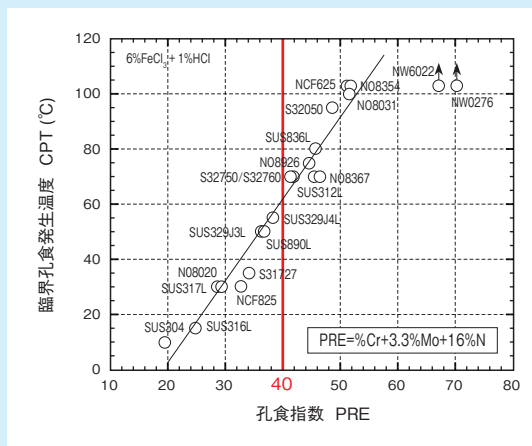


図3 各種ステンレス鋼及びNi合金の孔食指数PREと臨界孔食発生温度CPTの関係

(ASTM G48 Method C 孔食試験による)

食品プラントで活躍するステンレス鋼

醤油に限らず、調味料など塩分が多く含まれた食品の製造プラントでは容器内は厳しい腐食環境となり、高耐食ステンレス鋼への期待が大きい。

醤油のもろみタンクにスーパーステンレス鋼を提供した日本冶金工業(株)では、2002年に食塩の製造タンクにSUS836Lを提供しており、さきごろ点検が行われた。その結果、腐食による損傷がないことが確認された。

食塩の製造プラントでは、取り扱う対象が高温の濃厚食塩水であり、これまではチタンやアロイ276(ニッケル-クロム-モリブデン合金)等の材料が検討されてきた。しかし、これらの材料は高価であるため、より経済性に優れた高耐食ステンレス鋼が求められ、一部の環境ではSUS836Lが採用された。

食品を製造するプラントでは、優れた耐食性、洗浄しやすさ、などの理由から、様々な設備にステンレス鋼が

使用されている。例えばビールやワインの醸造タンクや輸送配管にも、一般的なステンレス鋼であるSUS304やSUS316等が広く使用されている。

私たちの楽しく安全な食生活のために、最先端のステンレス鋼の材料技術が生かされている。



▲各地で増えているクラフトビールのブリュワリーでは、発酵タンクや熟成タンクにはSUS304が多く使用されている。

- 取材協力 ヤマサ醤油(株)、日本冶金工業(株)
- 文 杉山香里

食品以外の分野でも活躍する高耐食ステンレス鋼

● 羽田空港D滑走路「ステンスライニングジャケット」



羽田空港の4本目の滑走路であるD滑走路は、2010年(平成22年)10月に供用開始された。海の中に栈橋があるD滑走路では、期待供用年数は100年とされ、材料や工法に長寿命化を実現するための多くの検討が行われた。特に栈橋部に用いられる鋼構造部材の防食については、有機系防食塗装では塗り替えコスト増大のおそれがあり、チタンラッド材では初期コスト過大という課題があった。

ここに採用された耐海水性ステンレス鋼薄膜ライニング工法は、優れた耐食性能を発揮しLCC面で大きな効果が期待できる。施工にあたっては、耐海水性に優れたスーパーステンレス鋼による耐食性確保と薄手化、溶接工法による効率化などが総合的に検討された。

(2009年ステンレス協会賞最優秀賞受賞)
使用鋼種: SUS 312L、UNS N08354
使用量等: 約500t(ジャケットレグ部(干満・飛沫帯))

● SOxスクラバーシステム



SOxスクラバーシステムとは、船舶用エンジンの排ガスからSOx(硫黄酸化物)を効率的に除去する排ガス浄化システムであり、国際海事機関(IMO)により規定されている大気汚染物質の国際基準に適合させるための装置である。

システムの中核機器であるSOxスクラバータワー内部は厳しい腐食環境となり、炭素鋼やSUS304などの一般的なステンレス鋼では耐食性が不十分であった。そこで、耐食性の高い二相ステンレス鋼SUS329J4Lやスーパーオーステナイトステンレス鋼SUS836Lが構成部材として採用された。

船舶エンジンの排ガス浄化システムは、環境装置として今後も需要が期待され、高耐食ステンレス鋼の用途拡大に繋がっている。

(2017年ステンレス協会賞優秀賞受賞)
使用鋼種: SUS329J4L、SUS836L 使用量等: 20t