

めっき高純水設備におけるカビ繁殖メカニズムの追究と 自動滅菌装置化による品質競争力の強化

Pursuing the mechanism of mold growth in high purity water equipment for plating and strengthening quality competitiveness through automatic sterilization equipment

西畑 克彦* 福間 亮介**
Katsuhiko Nishihata Ryosuke Fukuma

Abstract

This report presents the findings of an investigation into the mechanism of mold growth in high-purity water equipment in the plating process, which led to reduced mold adhesion. The purpose of this initiative is to improve productivity and increase competitiveness against other companies by improving quality.

Model verification experiments, based on hypotheses derived from principles, determined that spores from industrial water passing through the high purity water equipment and flowing into the plating tank were the cause of mold growth. As a countermeasure, we have developed automatic sterilization equipment in-house, which has enabled us to continue to have zero mold adhesion defects and reduce costs by improving productivity.

1. はじめに

自動車業界では近年急速に電動化ニーズが高まっており、業界を牽引するトヨタ自動車(株)は、2030年に向けて更なる電動車の拡大を発表している¹⁾。Fig. 1. に示す通り、電動車バッテリーの直流を交流に変換してモーターに供給しているインバータの内部にはパワーカードと言われる部品があり、素子の発熱を両面から放熱する役割を担っている。当社の電子知多工場ならび岐阜工場では電動車向けのインバータ部品であるパワーカード用リードフレーム(以下、PC用LF)を生産している。

PC用LFはFig. 2. に示す3品種(コレクタ、エミッタ、ターミナル)で構成され、特にコレクタはリードフレームとして世界最大級のサイズであり、薄肉部と厚肉部を持ち合わせた立体形状をしている端子と放熱性を有した一体部品である。Fig. 3. に示す通り、めっき界面がパワー半導体の第1接点であり、めっき界面信頼性が重要品質となっている。めっき表面の汚れがはんだ接合剥がれの原因となり、電動車

のモーター停止に直結するため、厳格な品質規格が定められている。

生産工程はプレス、めっき、検査の3ステップの全自動一貫工程となっており、表面状態の信頼性はめっき工程で決定される。プレス工程で製品表面に付着した油を脱脂洗浄し、表面の不働態被膜を除去することで均一なNiめっきを付与する必要がある。ここで、当社におけるめっき工程では、薬品による前処理を行う脱脂槽、Niめっきを行うめっき槽、後処理として製品に付着した薬品の洗浄を行う水洗槽の全25工程、46槽を全自動で処理している。

*スマート生技製造統括部 **スマート生技製造統括部 電子部品技術室

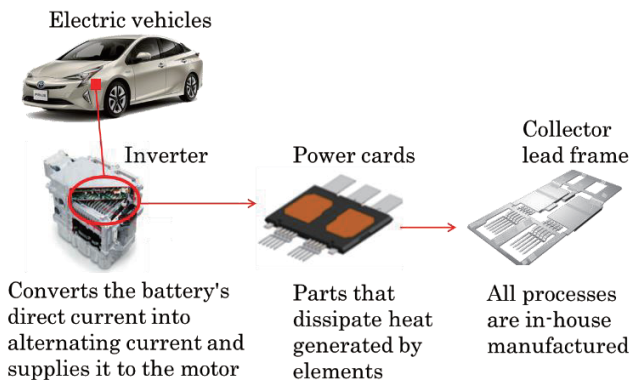


Fig. 1. The role of lead frames for power cards.

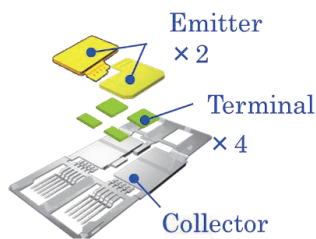


Fig. 2. Structure of lead frame for power card.

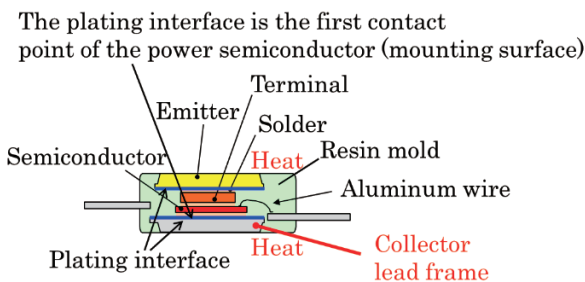


Fig. 3. Cross section of power card.

2. 問題提起

Fig. 4. に示す通り、めっき工程では安価な工業用水を使用し、純水装置にて不純物やイオンを除去した抵抗率 10MΩ・cm 以上の高純水 (Table 1.) を精製している。しかし、夏季 (5~10 月) にめっき水洗槽で発生したカビ (糸状真菌) が Fig. 5. に示す通り、信号端子に絡みつき、汚れ付着 0.1mm 以上不可という製品規格を超える品質不良が多発した。また、信号端子部の汚れは、接点不良の原因となるため対策が必須である。Fig. 6. に示す通り、めっき水洗槽の殺菌洗浄により一時的に不良発生を抑えることができるが、再度、連続処理の後半部分で汚れ付着不良の発生がみられた。これにより、Fig. 7. に示す通り、槽の洗浄処置に充てる時間が必要となり、生産性を大きく落としコストが増加した。

このように、めっき水洗槽におけるカビの発生は、品質の

悪化だけでなく、不定期な殺菌洗浄実施による生産性の悪化にも繋がるため改善が必須である。

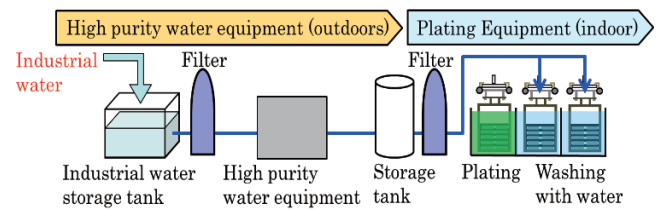


Fig. 4. Plating water supply flow diagram.

Table 1. Water quality for plating supply.

Name	Resistivity (MΩ・cm)	Application example	Impurity level guideline (per 50m pool)
Ultra pure water	>18	Semiconductor	A spoonful of ear pick
High purity water	>10	Our company	1 sugar cube
Pure water	>0.1	Electronic equipment	10 sugar cubes

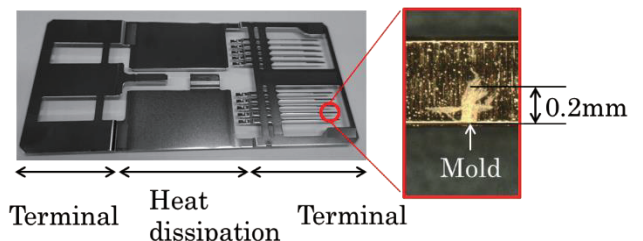


Fig. 5. Mold adhesion defects.

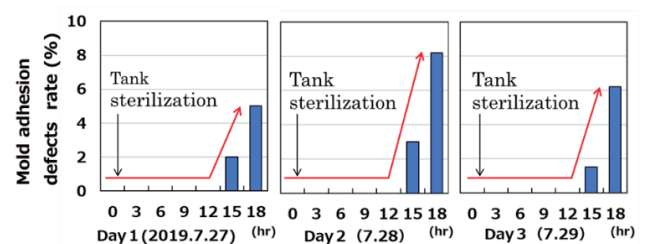


Fig. 6. Mold adhesion defects incidence trends.

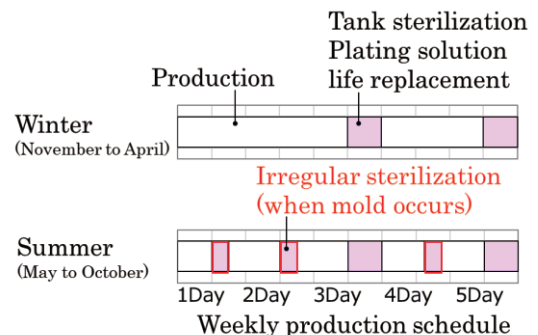


Fig. 7. Sterilization frequency by season.

3. 目標設定

信号端子にカビが付着する異物不良の発生をゼロにする。また、IoTを活用した異常検知と指標管理を行うことで再発防止を目標とした。

4. 原理原則

Fig. 8. に示す通り一般的にカビ繁殖の3条件として①温度 20°C~30°C ②湿度 70%以上 ③栄養素があげられる²⁾。

カビ繁殖のメカニズムはFig. 9. に示す通り①カビ孢子が水洗槽底に着床する。②着床した孢子が栄養素を吸収して成長する。③成長した菌糸が孢子を放出する。④新たに放出された孢子が着床して孢子を形成する。①~④を繰り返すことでカビは繁殖する。

これら条件をめっき工程に当てはめると、Fig. 10. に示す通り薬品の次工程の水洗工程が該当する。水温 25±3°Cで管理され、大量の水を扱うため常に湿度が70%以上、かつ薬品が持ち込まれて栄養素が含まれているからである。カビ繁殖には好条件であるが、製造条件のため変更することはできない。

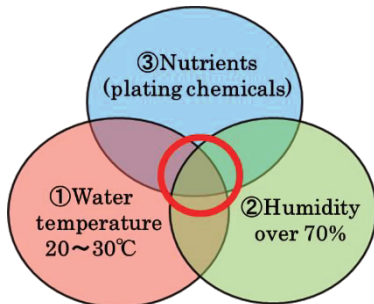


Fig. 8. Three conditions for mold growth.

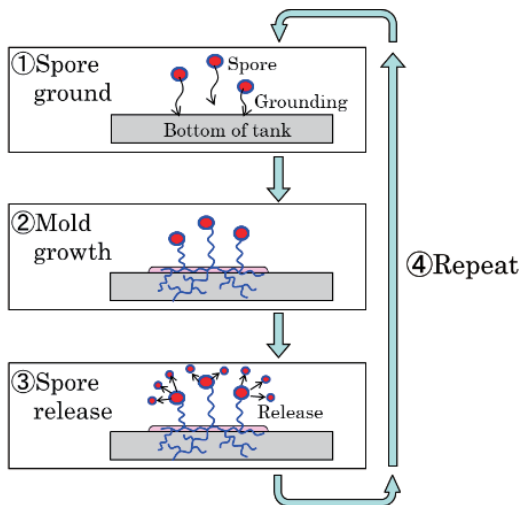


Fig. 9. Pursuing the mechanism of mold growth.

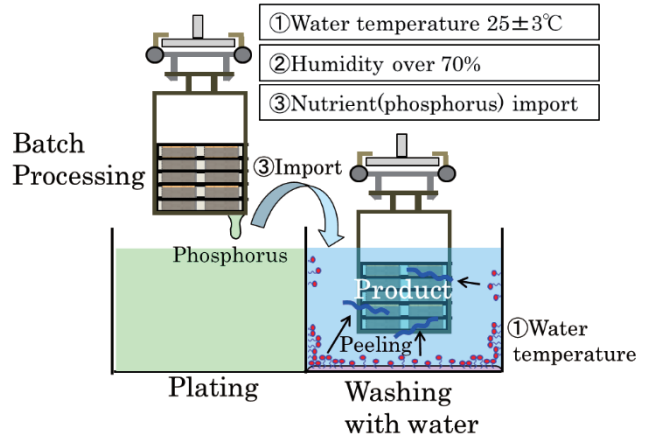


Fig. 10. Defect occurrence mechanism.

5. 仮説

【従来技術との違い・難しさ】

カビは多様な発生源と侵入経路が存在するため、稼働中の製造ラインから特定するには困難を極める。そのため、原理原則による仮説に基づく因子を抜き出したモデル検証実験が必須である。

Fig. 11. に示す通りめっき工程の原水には工業用水を使用している。夏季に増加した工業用水の孢子がめっき水洗槽に流入して初期菌数が高い場合、カビ繁殖は短い誘導期を経て早期にピークに到達するという仮説を立てた。Fig. 12. が細菌増殖のモデル曲線である³⁾。通常は誘導期を経て対数期で細菌が急増するが、初期菌数が高い場合には短い誘導期を経て早期にピークに到達すると考えた。

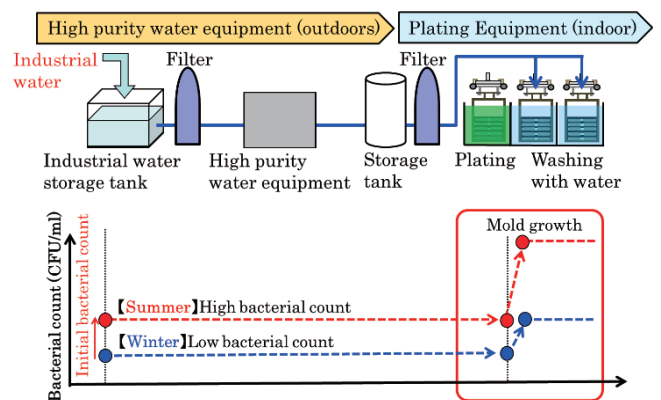


Fig. 11. Schematic diagram of the pure water production process.

Bacterial growth model

$$N = N_0 \exp(kt)$$

N : Bacterial count, N_0 : Initial bacterial count

t : Elapsed time

k : Specific growth rate

(Determined by Dissolved oxygen · Nutrition · temperature)

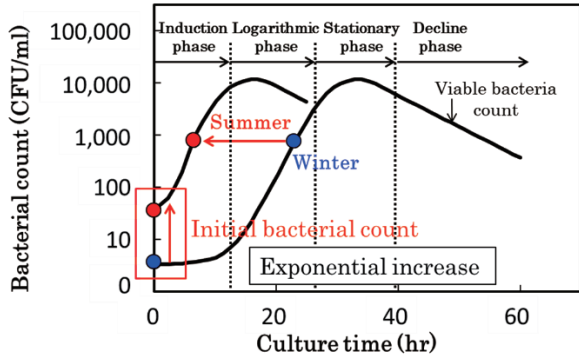


Fig. 12. Model curve for bacterial growth.

6. 検証

6. 1 初期菌数が繁殖速度に与える影響

初期菌数を与えるカビ増殖への影響検証のため、めっき水洗水の原水となる工業用水(電子知多工場)と水道水(岐阜工場)それぞれに栄養素となる Ni めっき液の製品付着量相当を添加し、ビーカー培養実験を行った。また、評価方法として菌活性度(RLU)をキッコマンバイオケミファ製ルミテスター(Fig. 13.)にて測定した。

結果、Fig. 14. に示す通り、初期菌数が高い工業用水の方が早期に菌数がピークに達した。また、培養ビーカーでは不良が発生する 18hr 時点で繁殖体(コロニー)が確認された。原因は、仮説の通り工業用水から孢子(2~5μm)が高純水製造装置を通過し、めっき槽内に流入したためである。

6. 2 菌種類の検証

Fig. 15. 示す通り保健環境研究所の専門分析結果より、工業用水とめっき槽内の菌種は同じ「糸状真菌」であることが判明した。これにより、原水である工業用水の孢子がめっき槽内で繁殖していることが確認できた。



Fig. 13. Lumitester made by Kikkoman Biochemifa.

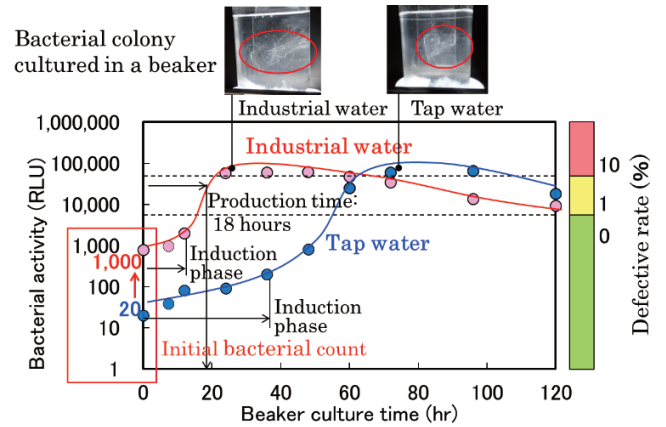


Fig. 14. The relationship between the type of raw water (initial bacterial count) and the rate of bacterial growth.

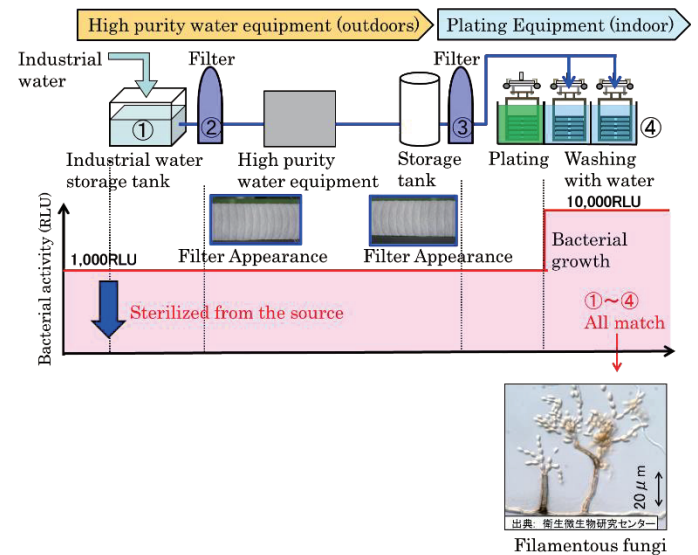


Fig. 15. Changes in RLU during the process.

7. 対策立案と効果確認

工業用水内の殺菌処理を行う手法を Table 2. に示す通り 3つの手法を立案した。①紫外線殺菌は、照射部には効果がみられるが貯槽全体の殺菌としては効果が薄いと判断した。②オゾン殺菌は、初期投資が他案と比較して高額であると判断した。③次亜塩素酸殺菌は、効果・コストの両面で有益であると判断し、この手法を選択した。

6. 1で実施したビーカー培養実験に次亜塩素酸ソーダを滴下してカビ繁殖速度の変化を確認した。結果、Fig. 16. に示す通り初期殺菌のみの場合でも96時間経過時点で菌糸の発生は見られなかった。これにより、工業用水の殺菌でカビ繁殖を抑えることができると分かった。

Table 2. Measures and evaluation.

	①Rays of light	②Gas	③Chemical solution
Content	Ultraviolet rays	Ozone	Hypochlorous acid
Effect	【×】Partial sterilization only	【○】	【○】
Cost	【△】5 million yen	【×】50 million yen	【○】1 million yen
Evaluation	【×】	【×】	【○】

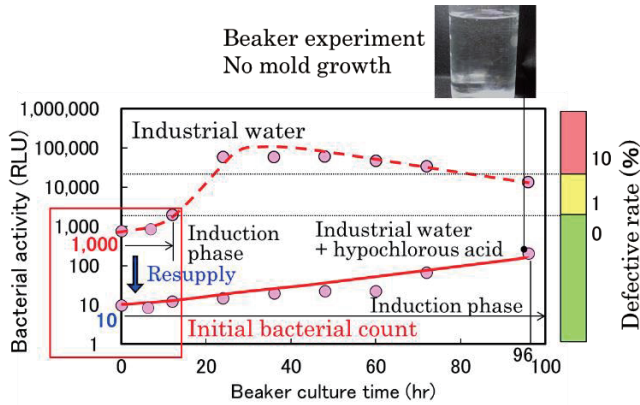


Fig. 16. The relationship between initial sterilization with sodium hypochlorite and the rate of bacterial growth.

8. 課題解決の方策

Fig. 17. に示す通り、工業用水貯槽に次亜塩素酸ソーダを水道水相当の濃度である 1ppm 補給し、カビの元となる孢子を殺菌して槽への流入を未然防止する装置を考案した。工業用水貯槽に次亜塩素酸ソーダタンクを設置し、工業用水の使用量を流量計で測定して、使用量に合わせた次亜塩素酸ソーダを補給し、かつ、塩素濃度計により貯槽内の塩素濃度を常時測定して塩素揮発による不足分を補給する仕様である。これにより、塩素濃度を常に 1ppm でキープしカビ繁殖を防止できるシステムを内製した。なお、このシステムは特許出願済である。

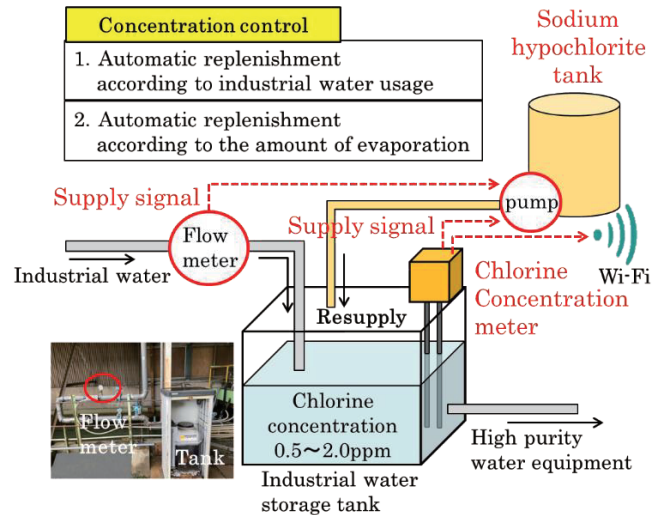


Fig. 17. Industrial water sterilization system overview.

9. 結果

品質面において、Fig. 18. に示す通り、工業用水殺菌システムを内製し、電子知多工場にて稼働させ不良ゼロとなった。また、塩素濃度を常に 1ppm でキープし 2021 年以降再発することなく不良ゼロを継続している。生産性においては、Fig. 19. に示す通り、洗浄回数 2~5 回/週を 1 回/週に低減可能となり生産性が 20% 向上した。

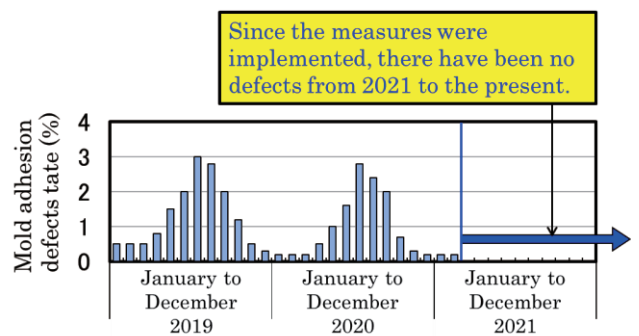


Fig. 18. Mold adhesion defects defect rate trends.

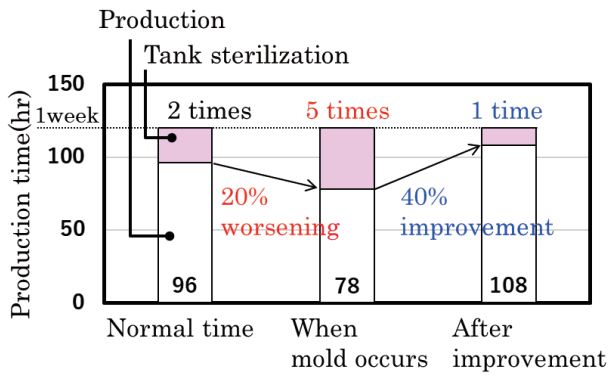


Fig. 19. Improved production time.

10. おわりに

カビは事象が捉え難く、繁殖条件の排除は困難であるが、数ある侵入経路から発生源を特定し、原水の種類によらない、汎用性の高い殺菌システムを内製し、対策をすることで、目標であるカビ不良ゼロの継続ができた。これにより生産性向上による原価低減に繋げることができた。

今後、市場が拡大する電動車インバータ放熱部品の更なる品質向上への寄与とコスト競争力の両立を図る。

参考文献

- 1) 株式会社 日本経済新聞社, "トヨタ、30年にEV・FCV200万台 世界販売の2割規模に", 日本経済新聞, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQ0FD124NI0S1A510C2000000/?msockid=0219c36e6e1d63c41281d58c6faf6296>, (2026-01-09) .
- 2) 合同会社天然材料研究所, "カビの好む環境とは？温度・湿度・栄養の関係を科学的に解説", 合同会社天然材料研究所, <https://www.tennen-zai.jp/?p=469>, (2026-01-09) .
- 3) 小口辰良, 一般微生物学 (1978), 252 (技報堂出版) .