

報 告

マグネシウム成形の『湯ジワ』抑止検討

木村 圭吾^{*1}, 安井 誠志^{*2}

“Flow Line” Restraint Technology in Magnesium Injection Molding

Keigo Kimura^{*1}, Seiji Yasui^{*2}

要 旨

近年、携帯電話は機能、小型軽量、デザインなどの競争が激化し、外装筐体には薄肉軽量化と高剛性化が求められ、実用金属の中で最も比重の小さいマグネシウム合金は、その両立を可能とする。しかし、マグネシウム合金の射出成形は外観不良「湯ジワ」が慢性的に発生し製造原価を押し上げる原因となっていた。今回、SQC手法を用いて効率的かつ定量的に発生メカニズムを推定・検証し抑止技術を確立した結果、湯ジワ不良を大幅に低減することができた。

Abstract

In the cell phone industry, the competition for function, downsizing and design has increased recently. Thinness, lightweight and strength are also required for cell phone housing. We have been focusing on Magnesium alloy that satisfies the requirements because Magnesium has the least gravity among the practical-use metals. However, flow lines chronically appear at the surface of Magnesium alloy as the result of injection molding. That raises the production cost. Therefore, I have studied various factors that generate flow lines efficiently and quantitatively by using SQC. Now I report the studies and introduce the flow line restraint technology that can drastically reduce rejection rate in the Magnesium injection molding.

*1 Keigo Kimura 生産技術開発部

*2 Seiji Yasui 特機事業部 技術部 技術室

1. はじめに

当社では、自動車部品以外に、家電品、OA・通信機器、農業・建設機械など、様々な分野で活動を展開している。携帯電話筐体もその一つであり、その代表的な製品写真を図-1に示す。

従来、この筐体には樹脂が多く用いられてきたが、近年、その薄型化を目指して、軽量・高剛性のマグネシウム合金(Mg)の適用が進みつつあり、現在では最小肉厚0.6mmを実現して携帯電話の小型・軽量化、さらには大画面化に繋がっている。

本報では、そのMg筐体成形でのネック課題の一つであり、製品の外観不良となる湯ジワの抑止に取り組んだ事例について紹介する。



図-1 携帯電話

2. テーマの選定理由

Mgの成形には、樹脂射出成形機と似た構造を持つチクソモルディング射出成形機を用いている。図-2に概略図と基本動作を示す。

この成形においては、金型キャビティ内の流れに起因する湯ジワが慢性的に発生し、製品の外観不良につながるため、後工程で表面仕上げが必要となり、製品原価を圧迫する要因となっている。

そこで、湯ジワ不良を撲滅し、表面仕上げ工程を廃止することを狙いとして、発生メカニズムの解析・把握と、抑止技術の確立に取り組むことにした。図-3にMg成形不良の内訳を示す。

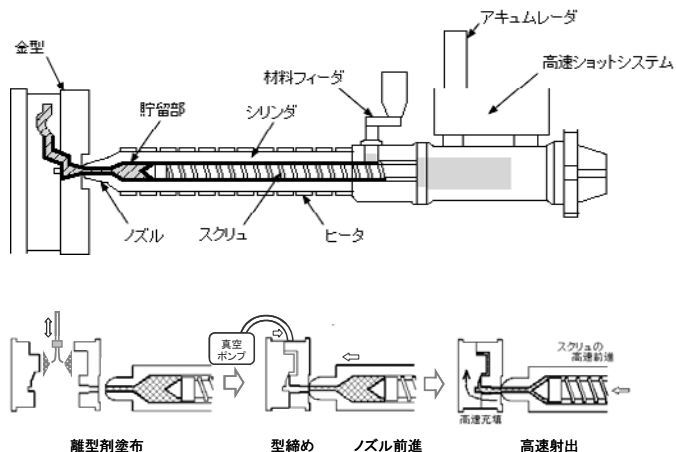


図-2 チクソモルディング射出成形

3. 目標の設定

これまで評価の基準が曖昧であった湯ジワのレベルを表-1に示す5段階に分け、表面仕上げ工程が不要な#2以下にすべく「湯ジワ抑止技術の明確化及び標準化」を目標に設定した。

表-1 湯ジワ評価基準

<湯ジワレベル>	<内容>	
#4	大	仕上げ必要 又は 不良
#3		
#2	小	仕上げ不要
#1		
#0		

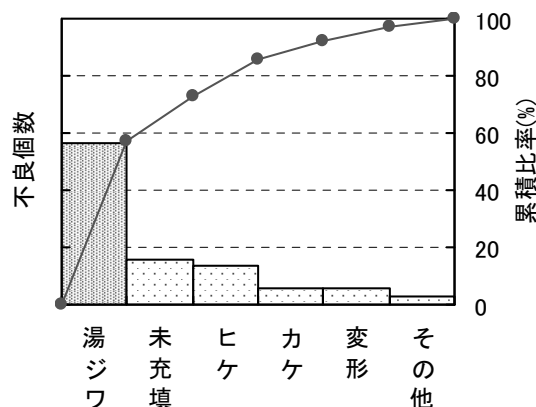


図-3 成形不良の内訳

4. 活動の進め方

活動は、図-4に示す山登り図に従って進めることにした。

5. 現状把握

湯ジワは、図-5に示すような製品外観の不良であり、断面写真から、溶湯が十分に融合していないために生じた表面付近の浅い欠陥であることが確認できた。

また、発生部位について現物を調査した結果、湯ジワはゲートと反対側にあるヒンジ部の、肉厚変化部位や、溶湯が合流する部位に集中して発生していることが確認できた。図-6に、湯ジワ発生部位の調査結果を示す。

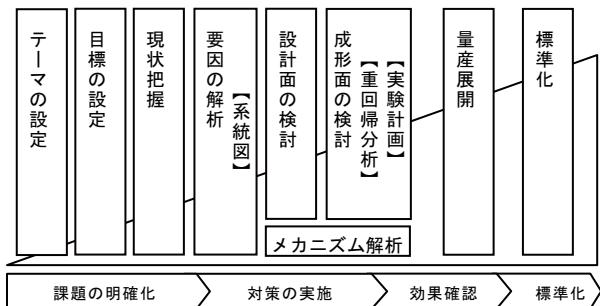


図-4 活動の進め方

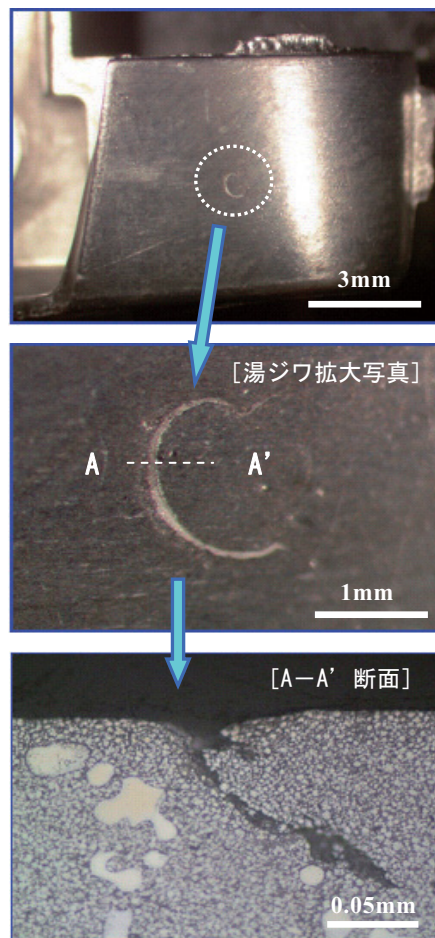


図-5 湯ジワ観察結果（ヒンジ部裏面視）

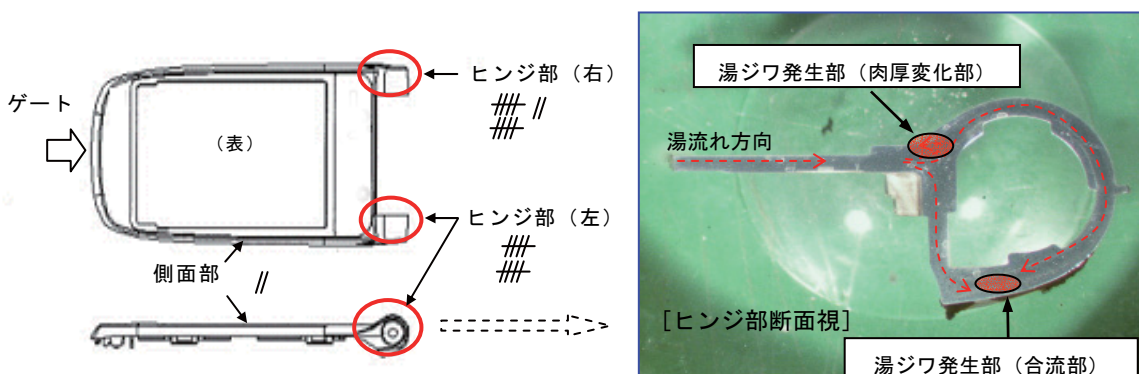


図-6 湯ジワ発生部位

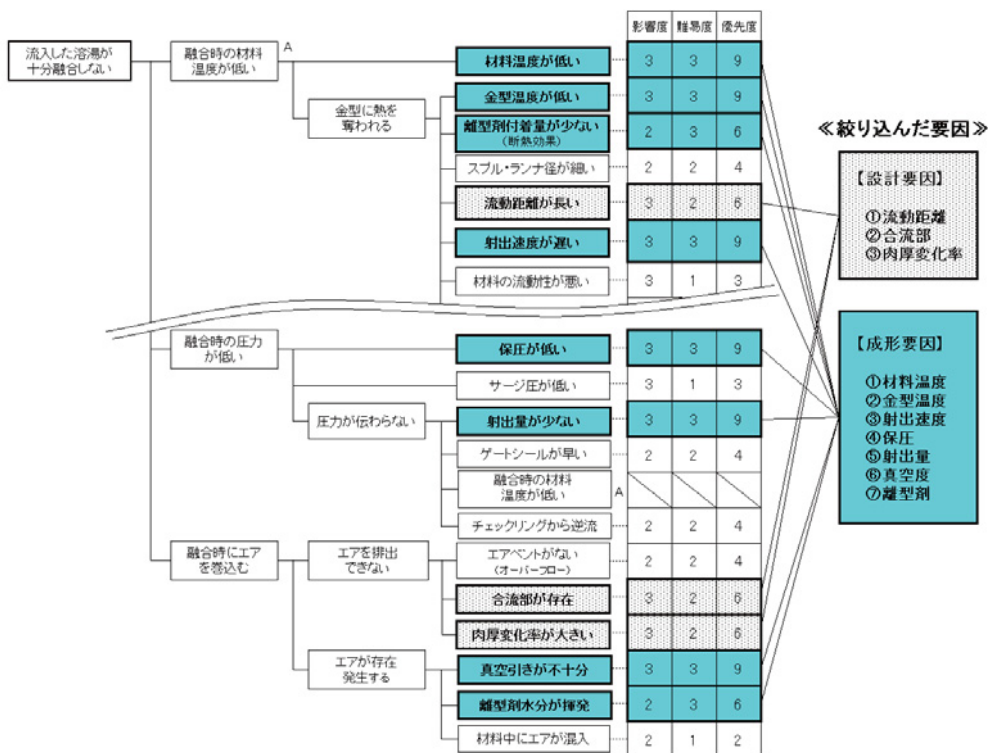


図-7 要因系統図

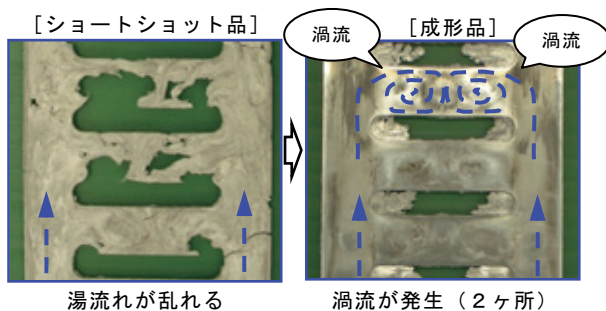


図-8 湯流れ観察結果 (合流型)

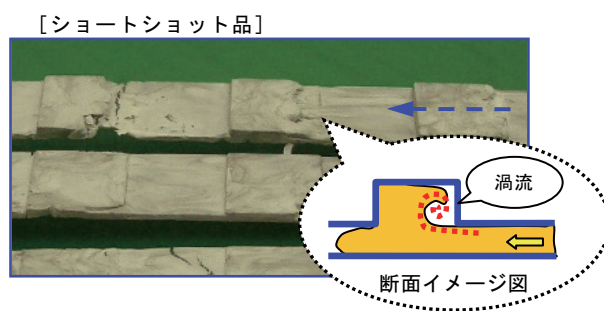


図-9 湯流れ観察結果 (肉厚変化型)

6. 要因の解析

6 - 1. 要因の抽出と絞込み

関係メンバを集めて要因の洗出しを行い、系統図を用いて整理した結果を図-7に示す。影響度と対策の難易度から要因を絞り込んだ。

6 - 2. 要因の層別

絞り込んだ要因を、設計要因と成形要因に層別し、それぞれについて検討を実施した。

- ① 設計面からの検討
 - ・湯ジワを抑止するための設計諸元の明確化
- ② 成形面からの検討
 - ・湯ジワを抑止するための成形条件の最適化

7. 設計面からの検討

7 - 1. メカニズムの解析

合流部及び肉厚変化部の形状を単純化した実験型を製作し、検討を実施した。

ショートショット成形品を試作し観察した結果、合流部もしくは肉厚の急変部において、粘度の低い溶湯を高速で射出するために慣性力主体の流れとなりジェット充填される。これにより溶湯の流れが乱れ、渦流が発生する。その中央部が十分融合しないときに湯ジワとなることが確認できた。合流型による観察結果を図-8に、肉厚変化型による観察結果を図-9に示す。

7 - 2. 設計面からの技術検討と考察

湯ジワを抑止するための設計諸元を明確にするための実験を行った。図-10に合流部における流動距離と湯ジワの関係を、図-11に肉厚変化率と流動距離が湯ジワに与える影響を示す。これらの結果から、仕上げ不要領域が明確になり、その領域に入る肉厚変化率や流動距離を設定すれば、湯ジワ不良を抑止できることを明確にした。

7 - 3. 新シリーズへの展開

得られた設計諸元を基に、新シリーズの製品設計及び金型設計段階で、設計部門や生産準備部門とDRを重ね、製品形状、金型設計を提案した。しかしながら製品設計上などの制約から、ゲートから離れた位置での肉厚変化率など、提案を反映できない部分もあり、旧シリーズと比較すれば大幅に減少できたものの、湯ジワ不良発生の可能性のある領域が一部に残る結果となった。図-12は新シリーズへの設計諸元展開の結果、製品の湯ジワ不良発生が抑止できると推定された領域と不良発生の可能性のある領域を示す。

8. 成形面からの検討

新シリーズの金型を用いて成形面における抑止技術の検討を行った。

8 - 1. 成形要因の絞込み

要因系統図から抽出した7つの成形要因に対し、過去の実験データを活用して、重回帰分析(変数増減法)を行い、定量的に要因を絞り込んだ。

なお、成形要因のうち、離型剤については、各要因と複雑な交互作用があると推定され、後工程の塗装条件にも影響を及ぼすため、別途検討を実施し、最適離型剤の選定、塗布条件を事前に設定した上で実験を行っている。

また、型内の真空度を高めれば、型内エアの絶対量を少なくでき、湯ジワ不良の抑止につながることは容易に予測できたが、従来の金型、設備による真空引き後の真空度は70kPa程度であったため、エアリークの極小化と排気抵抗・ロスの低減により短時間で、従来できなかった5kPaまでの真空度に到達できる改善を実施した。その真空システムを図-13に示し、キャビティ内の真空度を図-14に示す。

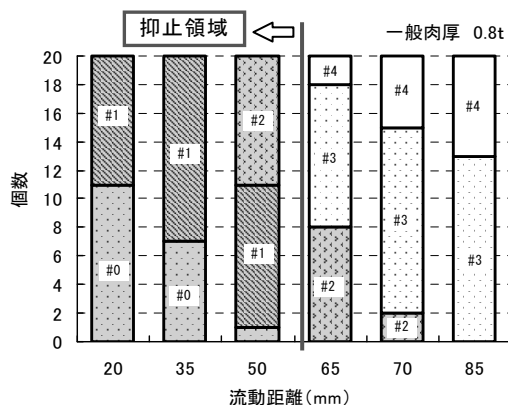


図-10 流動距離と湯ジワの関係(合流部)

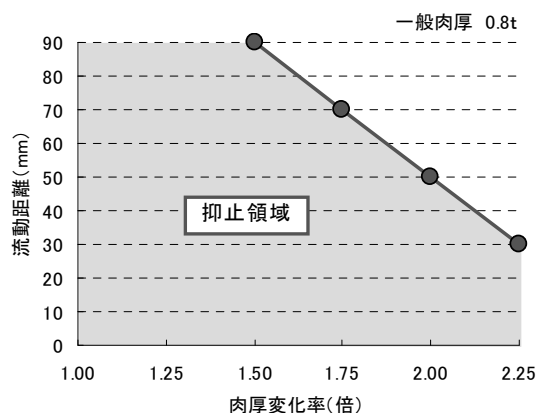


図-11 肉厚変化率と流動距離と湯ジワの関係

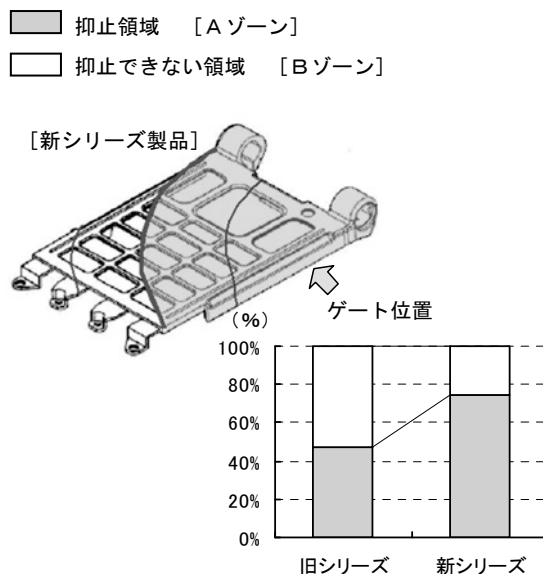


図-12 抑止領域

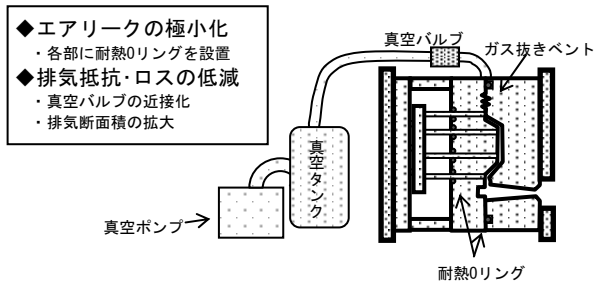


図-13 真空システム

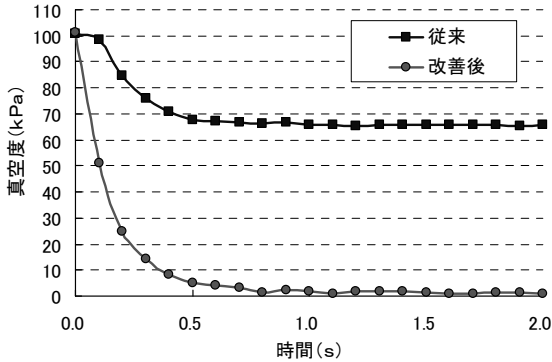


図-14 金型キャビティ内の真空度

表-2 要因と水準

記号	要因	水準	
		1	2
A	金型温度(°C)	160	230
B	材料温度(°C)	610	630
C	真空度(kPa)	101.3	5
D	射出速度(m/s)	1	2

表-3 L₁₆直交実験の割付け

列番	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No.	A	B	A × B	C	A × C	B × C	e	D	A × D	B × D	e	C × D	e	e	e

表-4 分散分析結果

	平方和	自由度	不偏分散	分散比	p値	検定
A	1.482	1	1.482	42.924	0.000	**
B	0.174	1	0.174	5.047	0.046	*
C	14.765	1	14.765	427.550	0.000	**
D	0.146	1	0.146	4.237	0.064	
誤差	0.380	11	0.035			
全体	16.948	15				

8 - 2. 成形面からの抑止技術検討

8 - 2 - 1. 成形条件の最適化

新たに設定した離型剤と真空システムを用いて絞り込んだ要因の効果と交互作用を確認するため、量産で連続成形が可能な範囲で表-2に示す水準をとり、L₁₆直交表に割付け実験を行った。表-3に割付け表を、表-4に分散分析結果を示す。

分散分析の結果、交互作用は認められず、金型温度、材料温度、真空度が有意となり、最適条件が設定できた。また、金型温度と真空度の影響が大きく、どちらも高いほど湯ジワを抑止できることが確認できた。図-15に要因効果図を示す。

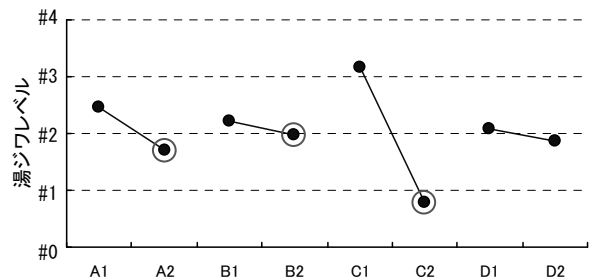


図-15 要因効果図

8 - 2 - 2. 追加実験

前項で、金型温度を高くすると湯ジワの抑止効果があることが確認できたが、このことにより、一般的には金型寿命が短くなり、突き出しピンやスライドのカジリなども発生しやすくなるのが経験的にわかっている。

そこで、それらを考慮にいった最適条件を探索するため、金型温度と湯ジワの関係について、一元配置の追加実験を行い、最適な金型温度を明確にした。その結果を図-16に示す。

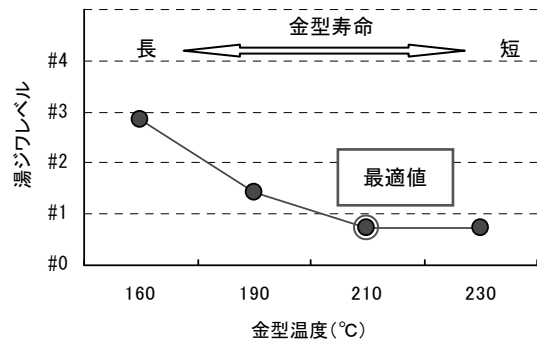


図-16 金型温度と湯ジワの関係

9. 量産展開結果

図-17に、一連の実験で得られた湯ジワ抑止検討の結果を量産展開したときの効果を示す。

- ① 湯ジワを抑止するための設計諸元を反映できた領域 [Aゾーン] では、湯ジワ不良をほぼ抑止することができた。
- ② 設計面の制約から、設計諸元を反映できなかった領域 [Bゾーン] についても、最適な成形条件によって、湯ジワ不良率を大幅に低減でき、後工程での仕上げ工数を削減できた。

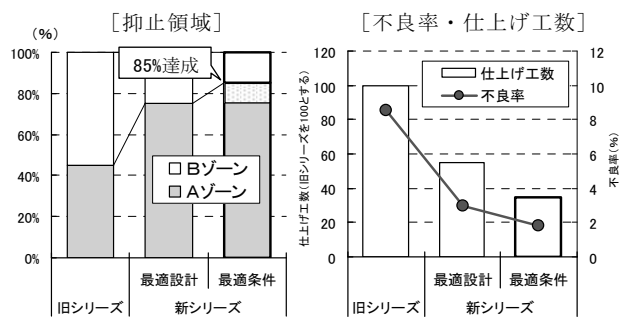


図-17 効果の確認

10. まとめ

10 - 1. テーマに関する成果

湯ジワを抑止するための定量的な設計諸元、最適な成形条件を明確にすることができ、製品設計、金型設計、成形条件、設備仕様について合計11項目に及ぶ標準化ができた。

10 - 2. SQC手法の効用

要因が複雑に絡み合っていたため、設計部門、生産準備部門、製造部門の不具合対策案にまとまりを欠いていたが、メンバを集めて意見交換を徹底的に行ったうえで、要因を設計面・成形面に層別後、SQC手法を活用して絞り込み、湯ジワという現象を定量的に評価・解析することで、効率的な問題解決に繋げることができた。

11. 今後の進め方

湯ジワ不良の撲滅、仕上げ工程の廃止を目指し、水準数を増した実験精度の向上と、設計面に課した一つ一つに限界値の見極めを行い設計の自由度を確保していく。

12. 最後に

今回の活動で多大なご協力を頂いた、関係者各位にこの場を借りてお礼申し上げます。