

スーパースカイビングカッタ, ギヤスカイビング加工における革新的な新工法

Super Skiving Cutter,
An Innovative Process Modification of Gear Skiving



門田 哲次*¹
Tetsuji Monden

菊池 寿真*¹
Toshimasa Kikuchi

吉川 啓祐*¹
Keisuke Yoshikawa

藤村 宜孝*²
Noritaka Fujimura

Adrianos Georgoussis*³

近年、内歯車の歯切り加工においてスカイビング加工法が注目されており、自動車・建機業界など多くの歯車加工ユーザが量産加工法として採用しつつある。しかし、このスカイビング加工法は、高精度且つ高能率な加工は可能である反面、切削中の工具への加工負荷が大きく、工具寿命が短いといった大きな問題が存在している。当社では、この問題を改善すべく、独自のスーパースカイビングカッタとスカイビング盤 MSS300 の開発に取り組んできた。本報は、スーパースカイビングカッタの性能を検証するために、従来のスカイビング加工法に使用されているピニオンスカイビングカッタとの比較テストを実施したので結果を報告する。また、本テストは第3者機関としてドイツのアーヘン工科大学の協力を得て実施している。

1. はじめに

内歯車は自動車用オートマチックトランスミッションや建設機械用減速機等の遊星歯車装置に主に使用されている。従来の内歯車の歯切り加工は、主にピニオンカッタを用いたギヤシェーパー加工及びブローチカッタを用いたブローチ加工に限られており、これらの加工方法には生産性・加工精度・生産コスト等において長所・短所が存在している。近年、これらに代わる加工法として、高精度且つ高能率な加工が可能なスカイビング加工法の開発が、機械の高剛性・高性能化及び工具材質・コーティング技術の進歩に伴い進められている。しかし、このスカイビング加工法にも工具寿命が短いといった大きな問題が存在している。

図1に示すようにスカイビング加工法では、軸交差角を設けた加工の性質上、切削中に工具の有効すくい角が負になる。そのため、工具の切れ味が低下し、切削抵抗が増加し、工具刃先の負荷を増加させ、工具摩耗の悪化やチッピングに至っている。この問題点を解決するために、当社では独自のスーパースカイビングカッタの開発を行ってきた。

図2は従来のスカイビング加工法に使用されているピニオンスカイビングカッタ(以下 PSC)と当社が開発したスーパースカイビングカッタ(以下 SSC)の外観写真である。SSC は工具を多刃状にすることにより、切削量を各刃に分散させ、工具一刃当たりの切削負荷を低減させることが可能である。

*1 三菱重工工作機械(株) 技術本部

*2 三菱重工工作機械(株) 技術本部 主席技師 技術士(機械部門)

*3 WZL of RWTH Aachen University Research Associate

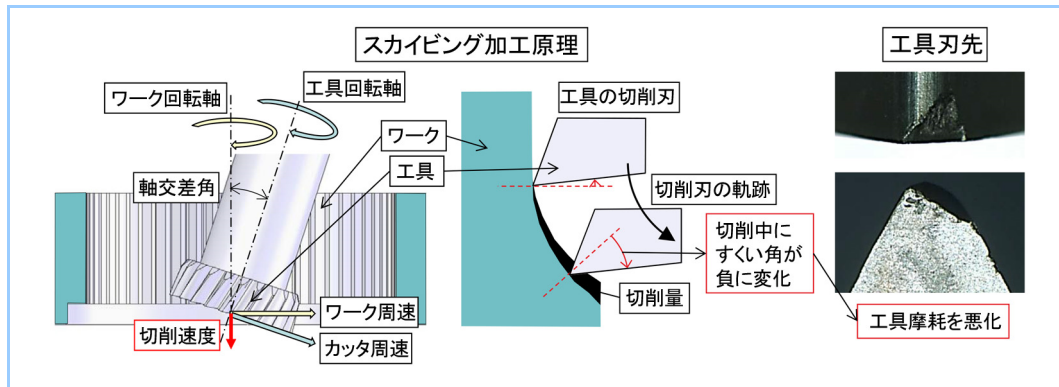


図1 スカイピング加工法の有効すくい角



図2 PSCとSSCの外観写真

また、図3は一般的な内歯車の製造工程である。SSCの開発は、当初より主に国内の自動車メーカにて採用されている図3-①に分類されるワークを対象に実施してきた。この場合、ワーク硬度は HB230 (≒HRC20) 以下であり、比較的加工しやすい硬度領域である。図4は図3-①に分類される HB200 のワークを、PSC と SSC の各工具にて工具摩耗量が $250\mu\text{m}$ に達するまで連続加工を行った結果である。このテストは同一サイクルタイム (以下 C/T) の条件下であり、SSC は PSC に比べ6倍程度のワーク加工数を達成している。しかし、図3-②に示すように、スカイピング加工時に HRC45 以下の高硬度のワーク材種を要求されるユーザも存在している。特にこれらの要求は海外ユーザで多く見られるため、本テストでは第3者機関としてドイツのアーヘン工科大学に協力を要請し、高硬度のワーク材種において SSC の性能評価を実施するに至った。



図3 内歯車の製造工程

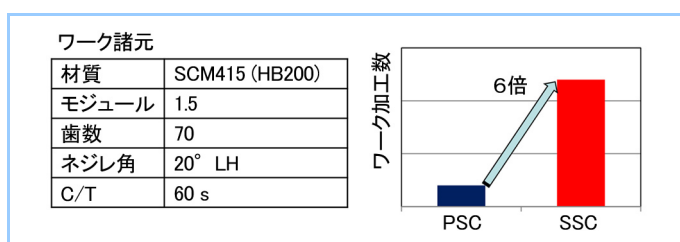


図4 PSCとSSCの性能比較(ワーク材質:SCM415)

2. スーパースカイビングカッタの特長

2.1 スーパースカイビングカッタの開発コンセプト

工具の短寿命が問題となっているスカイビングカッタに対して、ホブ加工と同様な多数の刃による連続的な加工で高生産性と長寿命化を実現する必要があった。そこで、工具を多刃化するため、従来のPSCに比べ工具に厚みを持たせ工具を開発するに至った。図5に示すように、スカイビング加工には軸交差角が存在しており、軸交差角を設けたまま工具に厚みを持たせるとワークとの干渉が発生する。この干渉を回避するためには工具を樽形状にする必要がある。この樽形状を元に工具の多刃化を実現している。図6に示すように、樽形状の最大外径をSSCの仕上げ刃とし、その仕上げ刃を基準に荒刃を設定して、SSCを形成している。

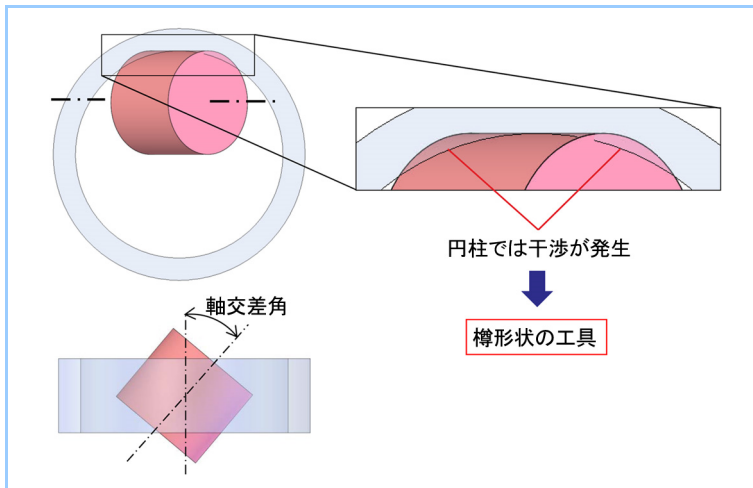


図5 SSCの形状①

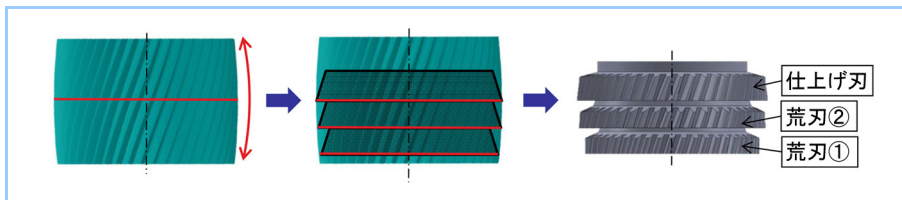


図6 SSCの形状②

2.2 スーパースカイビングカッタの長所

図7に示すように、SSCの長所は以下のとおりである。

- ・PSCは同一の仕上げ刃でワーク歯溝の加工領域を加工しているのに対して(図7は3パスにて加工した場合)、SSCは1パスの加工でワーク歯溝の加工領域を3枚の異なる切削刃(荒刃①、荒刃②、仕上げ刃)に分散している。SSCの1枚の切削刃にかかる切削負荷は1/3となり、工具の長寿命化を実現している。
- ・仕上げ刃に対して2枚の荒刃は独立して存在している。ワークの精度を決定するのは仕上げ刃の歯形形状であり、荒刃の歯形形状は自由に変更することが可能である。各刃の摩耗状況や切粉の形状によって荒刃の歯形形状を調整することが可能であり、更なる工具の長寿命化が期待できる。また、摩耗状況によっては仕上げ刃と荒刃で工具の材種を変えることも可能である。

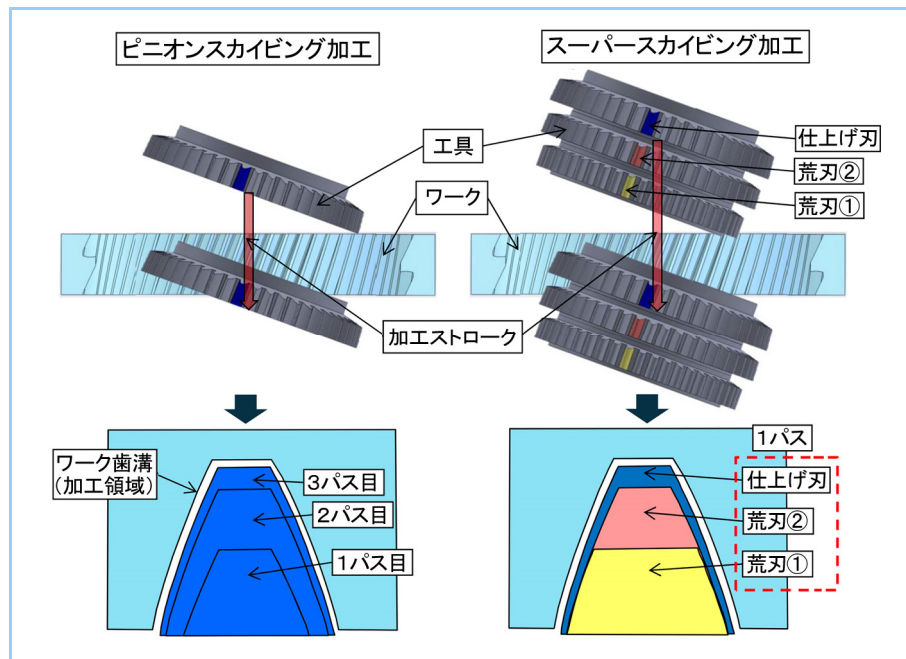


図7 加工領域に作用する工具の切削刃

3. テスト結果

3.1 テスト諸元

本テストに用いたワーク・工具・加工条件は表1に示すとおりである。テストカッタにはワーク使用数削減のため、歯数を6枚に減らしたカッタを用いており、このカッタを使用するとワーク1個の加工で9個分相当の加工が可能である。また、加工条件にある切削刃の作用回数は、PSC とSSC の比較において同等の C/T ではなく、切削刃1枚辺りの切削量が同等の場合での比較としている。つまり、切削刃の作用回数が 13 回では、PSC は加工1ストロークに1枚(仕上げ刃のみ)の切削刃が作用するため、トータルの加工ストロークは 13 パス(切削刃1枚作用×13 パス=作用回数13回)である。SSCは加工1ストロークに3枚(荒刃①、荒刃②、仕上げ刃)の切削刃が作用している。ただし、最終加工ストロークは精度向上を目的に仕上げ刃のみが作用するように設定しているため、トータルの加工ストロークは5パス(切削刃3枚作用×4パス+切削刃1枚作用×1パス=作用回数13回)となる。この場合では、SSCの方が約40%短縮されたC/Tとなる。PSCとSSCのC/Tが単純にパス数の比率とならないのは、図7に示すようにカッタ厚みの差により加工ストローク長が異なるためである。

表1 テスト諸元

ワーク諸元			工具諸元		加工条件		
モジュール	1.25	mm	形状	PSC	切削速度	120	m/min
歯数	85			SSC	送り速度	0.1~0.2	mm/rev
圧力角	20	deg	歯数	6枚	切削刃の作用回数	13	回 ※2
ネジレ角	20 (RH)	deg		(54枚相当) ※1			
材質	1.7225 (42CrMo4)		ネジレ角	SPUR			
硬度	30-35 35-40	HRC	材質	粉末ハイス 超硬			

※1 54枚のカッタより刃を落として等分6枚のカッタを製作

※2 PSC では加工ストロークは13パス(1ストロークに1回(1枚)の切削刃が作用)

SSC では加工ストローク5パス(1ストロークに3回(3枚)切削刃が作用、ただし、最終ストロークは仕上げ刃のみの1回(1枚))

テストカッタ



これらの条件の下、以下の比較項目にてPSCとSSCの寿命評価を実施した。

- ・ワーク硬度による影響:HRC30-35 と HRC35-40 の2種類による比較
- ・カッタ材質による影響:粉末ハイスと超硬による寿命評価

テストには当社が開発したスカイビング機 MSS300 を使用した。

3.2 テスト結果

図8は、粉末ハイスのカッタにて、HRC30-35 と HRC35-40 の異なる硬度のワークを加工した結果である。上段が、工具摩耗の変化を示しており、限界摩耗量を $250\mu\text{m}$ として比較すると、ワーク硬度 HRC30-35 では SSC の方が PSC に対して 2.3 倍の工具寿命であり、HRC35-40 では 1.4 倍の工具寿命であった。ワーク硬度が低くなるほど、PSC と SSC の性能差が大きくなっている。また、下段はワークの圧力角誤差を示しており、PSC と SSC で同等の摩耗量でも、PSC に比べ SSC の圧力角誤差はほとんど変化していない。

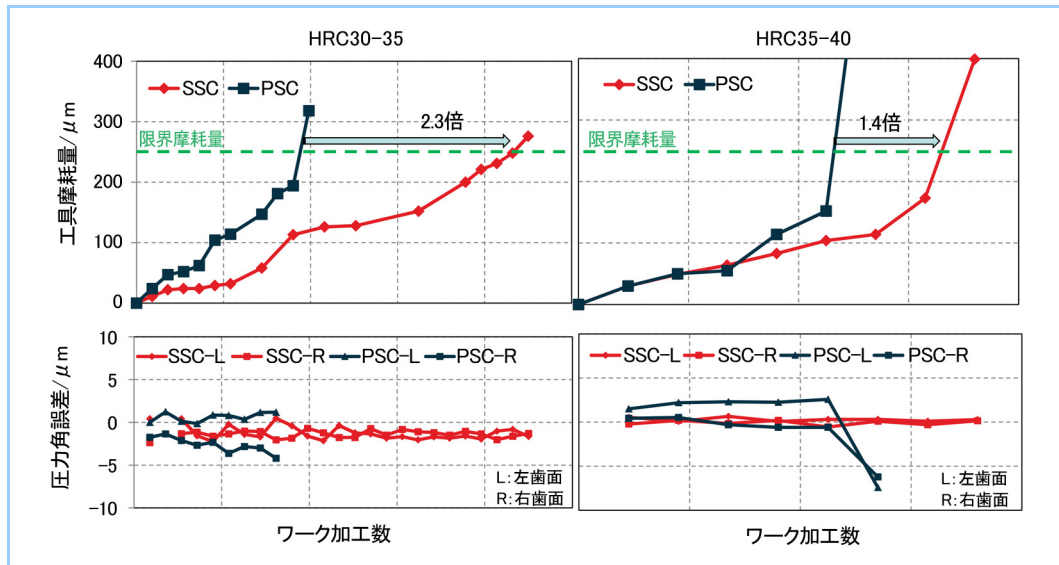


図8 PSC と SSC の性能比較(ワーク硬度差)

図9は、超硬のカッタにて HRC35-40 のワークを加工した結果である。図8と同様に上段が、工具摩耗の変化を示しており、限界摩耗量を $250\mu\text{m}$ として比較すると、工具寿命は、SSC の方が PSC に対して3倍以上であり、同一条件下でテストした粉末ハイスの 1.4 倍を大きく上回っている。

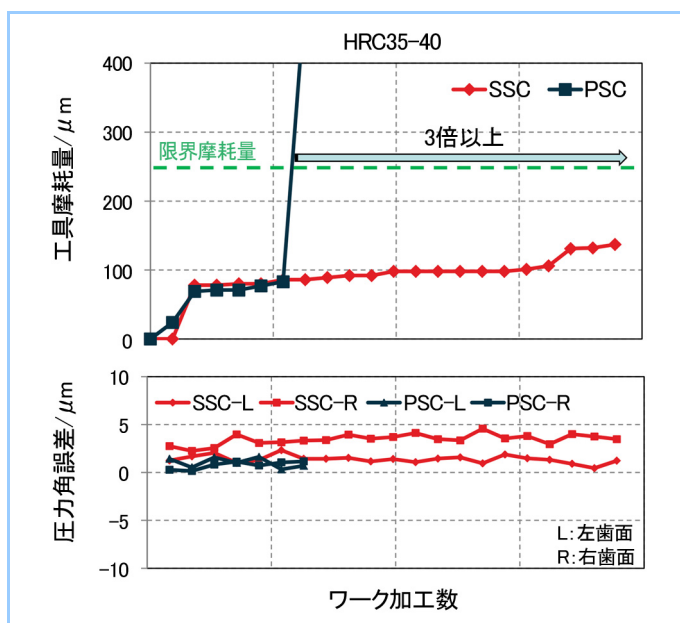


図9 PSC と SSC の性能比較(カッタ材質:超硬)

4. 考察

本試験において、PSC と SSC にて性能比較を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 図 10 に示すとおり、PSC と SSC の工具寿命の差はワーク硬度に依存する。
- (2) 図8, 9に示すとおり、ワーク硬度が HRC30-40 の高硬度領域及び C/T が約 40%短縮された条件下では、SSC は PSC の 1.4～3倍以上の工具の長寿命化が可能であった。
- (3) 図4に示すとおり、ワーク硬度が HB200 及び同一 C/T の条件下では、SSC は PSC の6倍の工具の長寿命化が可能であった。

以上のことから、SSC が PSC に対してより高い性能差を発揮するためには、ワーク硬度にあった適切な工具材質の選択と最適な加工条件の見極めが重要と考える。

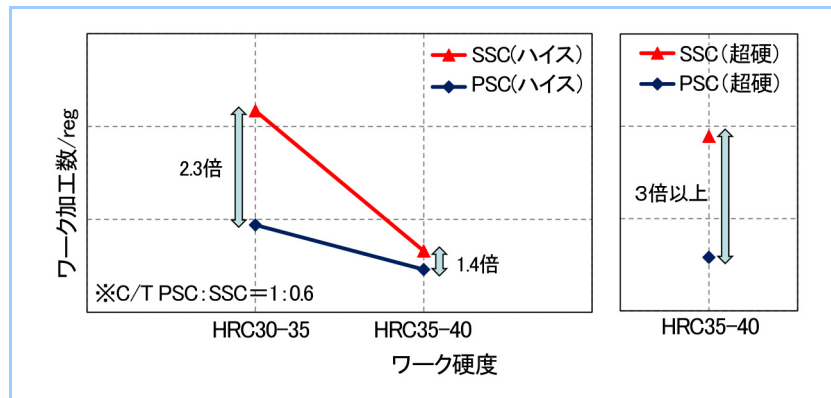


図 10 PSC と SSC の性能比較

5. まとめ

今回のテストで高硬度領域を含めた広範囲のワーク硬度において SSC の優位性が検証できた。今後も、更なる性能向上を目的に SSC の開発を継続していく。特に、加工条件の最適化や諸元違いのワークの評価と検証範囲を拡大していく予定である。また、当社では仕上げ加工用の内歯車研削盤 ZI20A の開発・販売も行っており、内歯車の製造工程においてスカイビング加工～仕上げ研削のトータルで最適な提案ができるよう取り組んでいる。

参考文献

- (1) 柳瀬吉言ほか、世界初量産用内歯車研削盤 ZI20A の開発、三菱重工技報 Vol.46 No.3 (2009) pp.7-11.
- (2) 門田哲次ほか、内歯車加工の工具長寿命化・高能率化の実現“三菱重工スーパースカイビングシステム”、三菱重工技報 Vol.52 No.1 (2015) pp.103-107.
- (3) 菊池寿真ほか、高精度・高能率な歯車加工を実現するスーパースカイビング盤 MSS300 の開発、三菱重工技報 Vol.53 No.4 (2016) pp.63-67.