◇ 特集 「環境負荷低減」,「省エネ」を実現する工作機械と加工技術 ◇

最近の省エネルギーホブ盤

Today’s hobbing machine with energy-saving

小林薫*
Kaoru KOBAYASHI

Key words : environment, dry cutting, energy-saving, high speed cutting, high accuracy

1. 緒言

二酸化炭素の排出による地球温暖化等の環境問題は，今全世界的な課題となっている．我々が製造している工作機械は自動車，建設機械，家電製品等の工場における中核的な生産設備として幅広く使用されており，全国で約70万台が稼働している状況にある．工作機械の省エネルギー化や環境負荷の低減を図ることができればエネルギーの有効利用や二酸化炭素の排出削減効果が大きく期待できる．

（社）日本工作機械工業会では，1997年12月に開催された「地球温暖化防止京都会議」(COP3)にて国際的合意がされた内容を受けて，「工作機械産業の自主行動計画」を1998年5月に制定した． （1999年3月一部改正）その主な内容を図1に示す．

1997年12月　地球温暖化防止京都会議(COP3)

温室効果ガス排出量を2008～2012年までに1990年比で5%削減

⇩

工作機械産業の環境自主行動計画　日本工作機械工業会

(1)工場内エネルギー使用量削減
　2010年：1997年比6%削減
(2)工作機械の省エネルギー化
　量から質の転換
(3)廃棄物対策
　リサイクル率のアップ
(4)環境汚染防止対策
　有害物質を使用しない
(5)ISO14001の取組み

図1　工作機械と環境問題

図2　KE250　CNCホブ盤

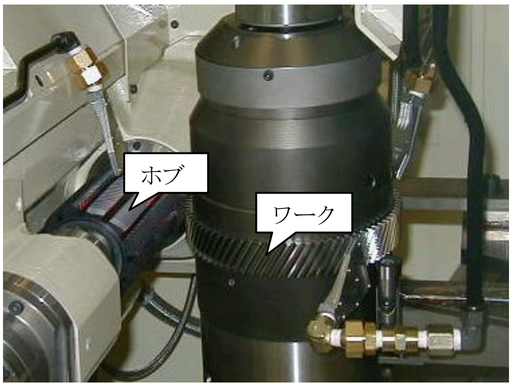

図3　ホブ，ワーク

始めに，我々が製造している，工作機械の内でも一般的にあまり知られていない「ホブ盤」はどういう機械なのかを説明する．図2に弊社「KE250　CNCホブ盤」の外観図を，図3にホブ・ワーク部を示す．

図3に示す切削用工具であるネジ状の「ホブ」を使用し，ホブとワークに連続創成運動を与えながら歯車を切削する機械がホブ盤と呼ばれている．

ホブ盤では従来より①工具摩耗を抑える ②熱変位を抑える

③切屑を機外へ排出するなどの目的により多量の切削油を使用していた.（切削油を加工部にかけながらの切削方法をウエットカットと呼ぶ）
それに対し切削油を使用しないドライカットホブ切りは切削油，切削油供給装置，廃油処理などに必要な経費の削減につながり，あわせて地球環境を考慮した加工技術である.
　また，電力消費を抑えた省エネタイプホブ盤は，二酸化炭素排出削減に大きく貢献できる. 以下最近の省エネルギーホブ盤についてその省エネ・環境対応技術について紹介する.

2. 従来のホブ盤

　現在多くのユーザーに使用していただいている切削油を使用するウエット仕様ホブ盤において，歯車1個を加工する際に使用する電力量の比率を図4に示す.

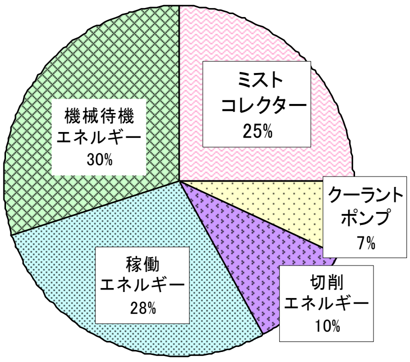

図4　ウエット仕様機電力使用量比率（1 サイクル当り）

切削油を使用することにより発生するオイルミストを回収する為のオイルミストコレクター及び切削油供給の為のクーラントポンプを合せると、切削油関係だけで32%を占めていることがわかる.

3. ドライカットホブ切りの採用

　ホブ盤は1980年代のNC化，1990年代初期のFMS，FMC時代を経て今日に至っている. そしてホブ切りのドライカットは，超硬ドライを初めとして，以前より使用されていたが，ここえ来て環境が問題化するにつれ，急速に普及してきた. そして1990年代中頃より環境にやさしい機械がクローズアップされ，ドライカット，省エネ，省資源機が開発，実用化され普及率が急速に高まりつつあり，その完成度も向上を続けている.
　更にドライカットは高硬度ワークの仕上げとして歯車研削仕上げに代わるハードホビング加工法が定着しつつある.
表1にドライカットホブ切りの種類と現状の加工範囲を示す.

表1　ドライカットホブ切りの種類と現状の加工範囲

ホブ		加工ワーク			ブツ切り／仕上げ	切削速度 (m/min)
材質	外径	種類	材質	モジュール (m)		
ハイスソリッド	～φ110	生材ＳＣＭ415他	硬度ＨＢ200以下生材	～5	ブツ切り	150～200
ハイスソリッド	～φ110	難削材　Ｓ50Ｃ ＳＣＭ435調質材	硬度ＨＢ250前後	～2.5	ブツ切り	80～100
超硬　ソリッド	～φ100	生材　ＳＣＭ415他	硬度ＨＢ200以下生材	～3.25	ブツ切り	～500
超硬　ソリッド ハードホビング	φ32～φ60	高周波焼入 ＳＣＭ440	ＨＲＣ54前後	0.5～1.25	ブツ切り	～60／100
		浸炭焼入 ＳＣＭ415	ＨＲＣ60前後	0.8～2.5	仕上げ切り	～80／120
サーメット（ロー付け）	φ85～φ130（18溝）	生材　ＳＣＭ420	ＨＢ180	1.75～3	ブツ切り	300～350
	φ85～φ130（12～18溝）	生材　ＳＣＭ421	ＨＢ200以下	1.75～3（ウエット～8）	仕上げ切り	200～500

表中ブツ切りとはワークを無垢の状態から切削する事を意味している.
ハイスドライ加工は，ウエット加工に比べて1．5～2倍の切削速度で加工する事ができ，さらに超硬ホブ切りでは3～4倍の速度で加工できるので，サイクルタイムの短縮が図れアイドルタイムの短縮化とあいまって省エネ効果を得ている.

4. 省エネホブ盤

4．1 省エネホブ盤に必要な項目

　省エネホブ盤に必要な項目を次に示す.
〈完全ドライカット化〉
- 切削油レス
- 切屑フラッシングオイルレス
- 切屑飛散防止，機外への排出容易化

〈省エネルギー化〉
- 水平，垂直軸及びサポートアーム昇降にリニアローラーガイド使用
- ホブ軸駆動の短縮化
- 油圧ユニットの小型化
- 自動給油の小型化
- サポートセンタ昇降を油圧からサーボモータ化

〈高速・高精度化〉
- ホブ・テーブル高速回転化
- 高速オートローダー（軽量化，簡素化）（非加工時間を短縮させることは無駄なエネルギー消費を無くす）
- 切屑の歯切り治具への噛み込み防止対策
- 冷却システムの採用

4．2　完全ドライカット化

　切削油レス，切屑フラッシングオイルレス化を実現した「KE250」のベッド，ワーク，テーブル周辺の写真を図5に示す.

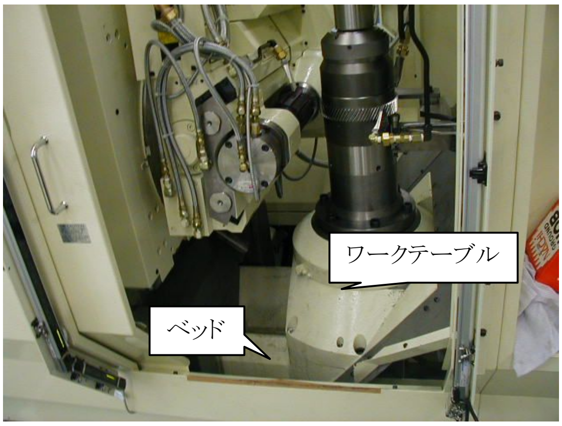

図5　KE250ベッド，ワークテーブル周辺

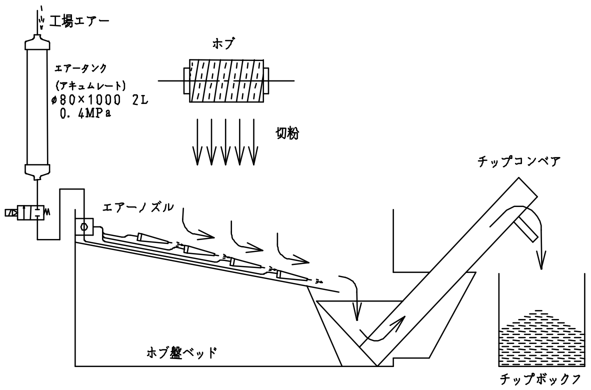

図7　エアーアキュームレータ方式チップ処理

飛散する切屑がスムーズに機械ベッド中央部へ自然落下する様にベッド，ワークテーブルに40°以上の傾斜をつけている．又，ベッド中央に自然落下した切屑をいち早く機外に排出する方法を図6に示す．

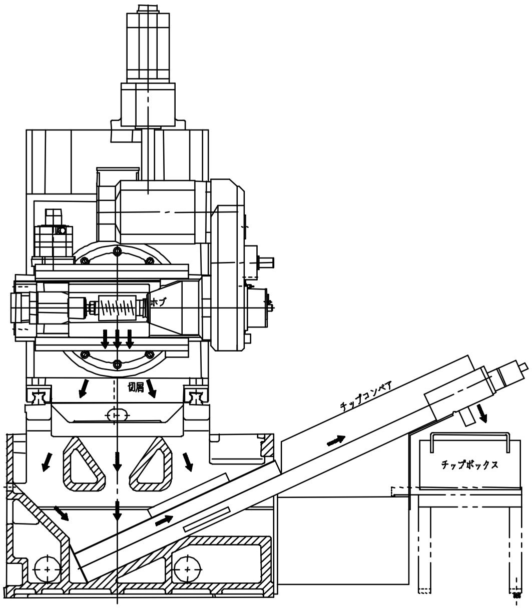

図6　KE250　ドライカット切屑排出法

チップコンベアは搬送速度の高速化と耐熱性を要する．
又，近年ではウエット仕様機を改造又はオーバーホール時にドライ化改造する要求も増え，その場合は機械構造の制約から完全ドライカットは困難で，切屑をエヤー又はフラッシングオイルにより機外に排出する方法をとる場合が多い．
図7にエアーアキュレームレータ方式チップ処理の例を示す．

4．3　省エネルギー化

弊社開発の「KN80」型小型CNCホブ盤は，ドライカット機としての完成度を高め，省エネ，省資源型として開発し，すでに多くの販売実績をもつに至っている．

ドライカットにより，切削油，ポンプなどの供給装置，廃油処理，オイルミスト回収装置が不要となり省エネ，省資源となるのは言うまでもないが，更にホブ盤の構造面の設計を新しく見直して省エネ，省資源機を実現した．

その一つがサポートアーム昇降を従来の油圧駆動からサーボモータ駆動とすることで，油圧は数ヶ所のクランプ機能用のみとなり，油圧ポンプモータは2．2kWから0．75kWへ，油圧タンク容量は60□から10□と著しく小型化できた．
図8にサーボモータによるサポートアーム昇降を図9に小形省エネ化油圧ユニットを示す．

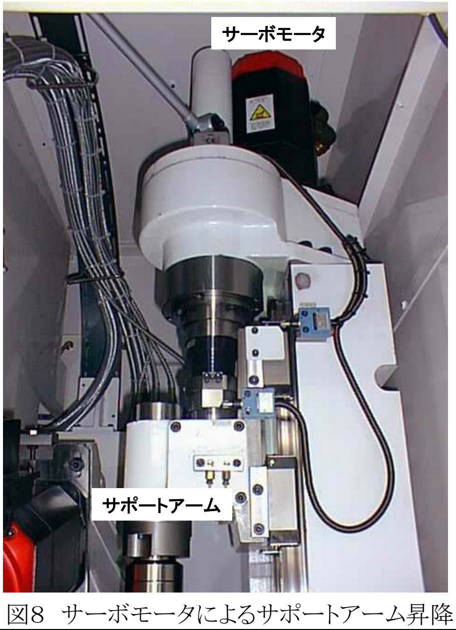

図8　サーボモータによるサポートアーム昇降

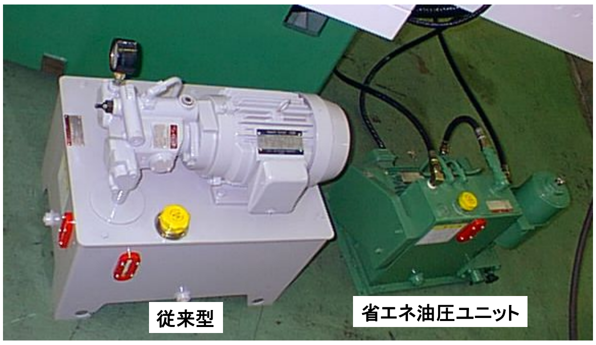

図9 小型、省エネ化された油圧ユニット

4.4 高速化

ウエットカットに対し，ドライカットは切削速度を高速化できるため，ホブ盤も主軸／ワークテーブル共に高速化する必要があり，更に工具がハイス→超硬→サーメット→CBNになるほど高速加工ができるため，ホブ盤もそれに応じて高速化する必要がある．表2に当社の完全ドライカット対応ホブ盤の仕様を示す．

表2 完全ドライカット対応ホブ盤仕様一覧

項目		P60	KN80	KN151	KA200E	KA220E	KE250
立/横		横型	立型	立型	立型	立型	立型
ｺﾗﾑ/ｻﾎﾟｰﾄ			一体	一体	独立	独立	独立
乗用車T/M用加工対象ﾜｰｸ		ﾋﾟﾆｵﾝｼｬﾌﾄ	A/T用ﾋﾟﾆｵﾝ	軸付ﾜｰｸ	ｽﾋﾟｰﾄﾞｷﾞｬ	ﾘﾝｸﾞｷﾞｬ	ﾘﾝｸﾞｷﾞｬ
主軸	回転速度 min^{-1}	5000	2660	1330	1500	1500	1400
	駆動方式	ﾀﾞｲﾚｸﾄ	ﾍﾞﾙﾄ	ｷﾞｬ	←	←	←
ﾜｰｸﾃｰﾌﾞﾙ	回転速度 min^{-1}	3000	330	150	150	83	125
	駆動方式	ﾀﾞｲﾚｸﾄ	ｷﾞｬorｳｫｰﾑｷﾞｬ	ｳｫｰﾑｷﾞｬ	←	←	←
主軸容量 kW		7.5	5.5	5.5	11or15	15	15
ﾜｰｸ最大径 mm		φ100	φ80	φ150	φ200	φ250	φ250
ﾎﾌﾞ最大径 mm		φ65	φ110	φ130	φ130	φ130	φ130
備考		○ﾊｲｽﾎﾌﾞ、超硬ﾎﾌﾞ、ｻｰﾒｯﾄﾎﾌﾞで加工可能○ｳｪｯﾄ加工も可能○ｵﾌﾟｼｮﾝにより更に高速化可能					

P60においては，主軸／ワークテーブルの両軸にダイレクトドライブ駆動を採用し，主軸最高回転数5000min^{-1}，ワークテーブル最高回転数3000min^{-1}を可能にした．

更に高速オートローダの開発及びアイドルタイムの短縮により，無駄なエネルギー消費を無くし，省エネ効果を得る事ができた．

4.5 高精度化

切削油を使用しないドライカットの場合，ワークと歯切治具，取付基準面の間に切屑が噛み込みやすい為，ワーク外周からのエヤーブローの他に歯切治具内部からのエヤーブローを実施し防止している．図10にその例を示す．

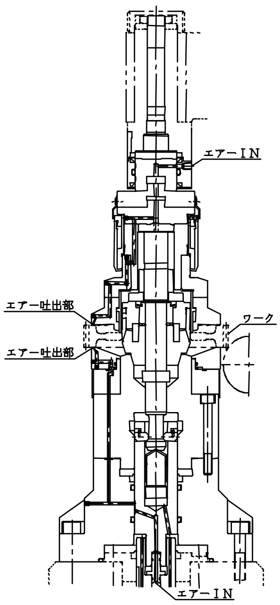

図10 歯切治具内部からのエアブロー

又，ドライカットの場合，主軸，ワークテーブルの回転部から発生した熱及び切屑の熱がウエットカットの様に切削油により冷却される事がなく，又ベッド内に溜めた切削油により，機械全体の熱変位を抑制することが期待できない．

KN80は独自のコラム・サポート一体構造採用により，熱変位を抑えることができた．図11にピニオンを15秒サイクルにて1時間（加工個数240個）超硬ドライホブ切りしたときのOBD（歯厚）の変化を示す．

コールドスタートからの歯厚の変化は0．02mm以内となり安定した熱剛性が得られた．

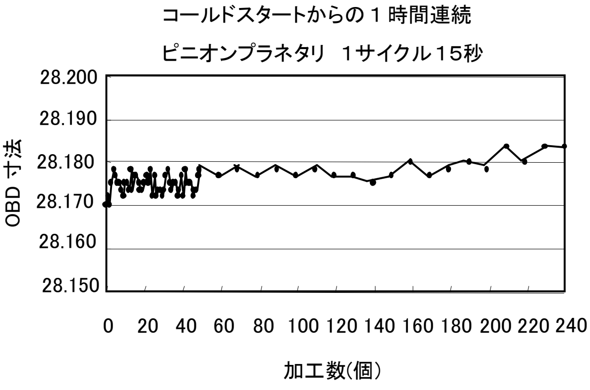

図11　超硬ドライカット時のOBD変化

ワーク外径φ200以上のホブ盤になると前出図2，図5の様な機械構造になり，この場合完全ドライカットを実施すると，従来機ではコールドスタートからの歯厚の変化は0．05mm 以上発生する．

これに対して熱変位に大きく影響を及ぼすワークテーブル及びベッドを冷却する冷却システムの採用により，コールドスタートからの歯厚の変化を0．02mm 以内に抑えることができた．

図12に乗用車用ファイナルリングギヤを59．5秒サイクルにて約1時間40分（加工個数100個）ハイスドライホブ切りしたときのOBD（歯厚）の変化を示す．

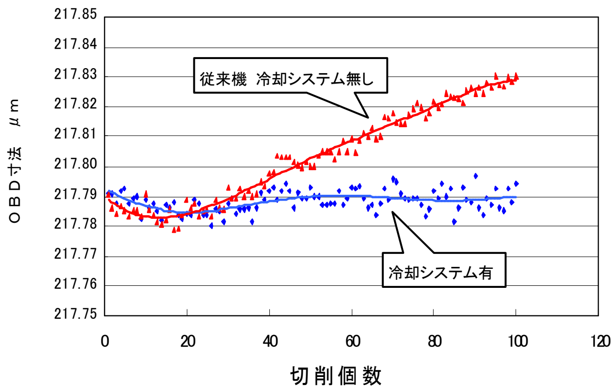

図12　ハイスドライカット時のOBDの変化

5. 省エネ効果

以上，完全ドライカット化，省エネルギー化，高速・高精度化を実施することにより，図13の様な省エネ効果を得ることができた．

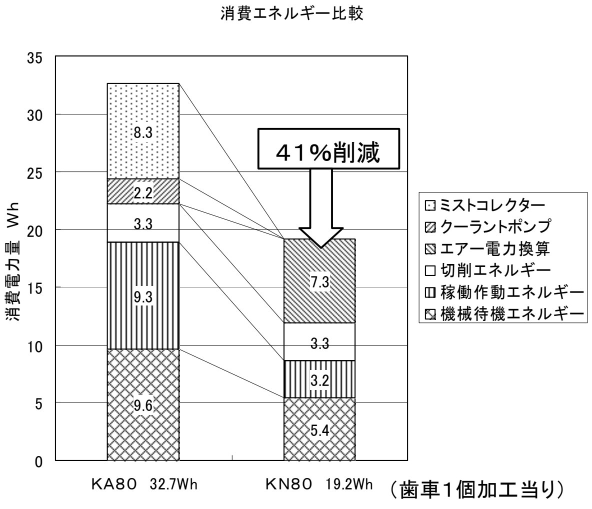

図13　KN80　省エネ効果

歯車1個加工当り従来機ウエット仕様KA80に対して41％消費電力量を削減することができた．

6. おわりに

最近多くのユーザーから加工ワークの大きさに見当った無駄のない大きさ，スペックの機械を要求される様になってきている．

これは，コスト低減は勿論の事，省エネ，強いては環境負荷の低減に向けての各社の感心の高さからと言うことができる．

これらの要求は被加工ワークの高精度化とは相反する傾向にあるが，今後解折及びシュミレーション実験を駆使しながら，ユーザーニーズを早期に実現させていきたいと考えている．