

高圧水駆動カッターに関する検証 (第3報)

日比 康友**, 後藤 真也*, 鳥谷 淳*

概 要

高圧水駆動カッターは、「消防ポンプ車等の送水圧力で駆動する新たな切断器具」として、平成19・20年度に国の助成金制度¹⁾を活用し、民間企業²⁾及び大学³⁾と共同開発したものである。

平成21年度は、前年度の改良機を更に改良した実用初号機について、消防活動における有効性を確認するための実地検証を行うとともに、鋼板切断時の火花発生を抑制する改良ダイヤモンド切断刃に関する実験を実施した。

実地検証結果では、まだ一部に改良の余地は残るものの実用初号機の総合評価は、前年度改良機を大幅に上回る高評価となり、庁外⁴⁾からも高い評価を受けるなど、特殊な災害活動環境下で威力を発揮する新たな切断器具としての有効性が確認できた。

また、火花発生を更に抑制できる新たな切断刃も開発⁵⁾されており、これらを組み合わせることで、より有効性の高い切断器具となることが期待される。

1 はじめに

現在、主な切断器具としては内燃機関で駆動するエンジンカッターや電気駆動のバッテリーソーなどがあり軽量コンパクトで可搬性に優れ利便性が高いが、内燃機関や電気駆動のため、酸欠、水中、援護注水などの活動環境下では使用できない場合がある。

また、切断箇所付近に要救助者や可燃性蒸気等が存在する場合、鋼板切断時に発生する火花等が飛散することで二次的被害が発生する可能性もある。

このことから、高圧水駆動カッターはエンジンカッターやバッテリーソーなどの切断器具が使用し難い活動環境下においても活用でき、かつ、切断活動時の飛散火花や切断粉塵を抑制することができる切断器具として開発されたものである。

今回は第3報(最終報)として、高圧水駆動カッター(実用初号機)の特長、有効性についての実地検証に係るアンケート調査結果、そして現在開発されている切断刃を含めたダイヤモンド切断刃の性能比較実験結果について報告する。

2 高圧水駆動カッターの概要

平成20年度までの検証結果等を踏まえ改良した実用初号機の特長を次に示す。

なお、外観を写真1、諸元性能を表1、活動時の活用イメージを写真2に示す。

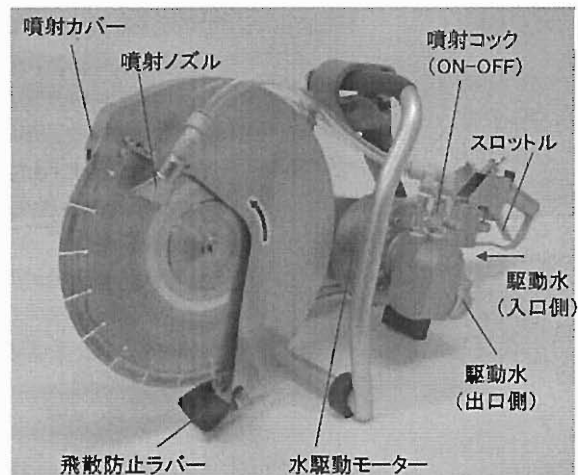


写真1 外観

表1 諸元性能

項目	諸元性能
駆動圧範囲	1.0~1.5 MPa(標準)
駆動水量	300~450 l/min
冷却水噴射量	30~40 l/min
切断刃	ダイヤモンド刃
最大切断速度	44 mm/秒(鋼板1.6 mm時)
本体重量	10.2 kgf(切断刃は除く)
長さ×高さ×幅	811×376×210 mm
切断材用途	金属、コンクリート、木材等

*消防技術課 **荏原消防署 1) 総務省消防庁が所管する「消防防災科学技術研究推進制度」
 2) 櫻護読株式会社、株式会社スギノマシン 3) 首都大学東京 4) 後述 5) 「おわりに」参照
 5) 横浜国立大学(参考文献参照)



写真2 活用イメージ

(1) 主な特長

主な特長及び改良点は、次のとおりである。

ア 特殊な活動環境下での活用

最大の特長は、ポンプ車やB級可搬ポンプからの送水圧力で駆動する水駆動モーターを採用し、エンジンカッターやバッテリーソーが使用できない酸欠状態、援護注水や水中等においても活用できる切断器具を実現させた点にある。

高圧水駆動カッターは、消防隊の主力装備であるポンプ車と消防ホースを活用できるため、導入コスト（専用高圧ポンプ及び専用高圧ホースは不要）が抑えられる点においても有利である。

また、一般的な 40・50・65 mm消防ホース（ねじ式、町野式）に対応できるよう各種媒介金具も附属しており、約 200m 程度（65 mm 使用時）までホースを延長して活用できる設計となっている。

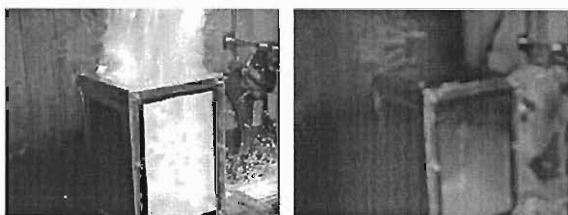
イ 火花発生及び飛散を大幅に抑制

金属切断時に発生する火花を抑制するための冷却水噴射装置（ON-OFF コック付）が装備されている。

これは、水駆動モーターで使用した後の水の一部を取り出し噴射ノズルから切断部に水を噴射させる構造となっており、火花発生を抑制するほか、木材やコンクリートなどを切断した際に発生する粉塵も抑制することができる。

この装置により、災害現場にある潜在危険（ガソリン等の可燃性蒸気による引火危険、切断火花や粉塵が要救助者へ与える影響など）を防除することができる。

写真3は、ガソリンの可燃性蒸気を封入した鉄箱を切断した際の着火実験で、その効果の一部を確認したものである。



エンジンカッター

高圧水駆動カッター

写真3 着火実験

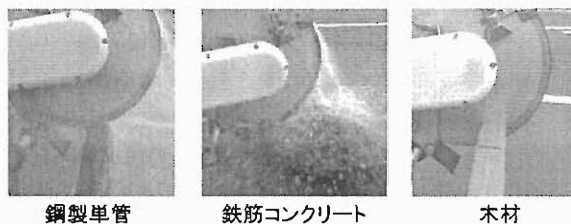
ウ 水の循環活用

駆動に使用した水は、出口側から排出されるが、消防ホースを結合して、再度、ポンプ車のタンク水へ戻し循環して活用することも可能である。

エ 多用途に切断可能

写真4に示すように、ダイヤモンド刃により、金属、コンクリート、木材、複合材など幅広い切断用途に活用できる。

なお、エンジンカッターでもダイヤモンド刃を装着できるが、ダイヤモンド刃は切削熱に弱いため冷却水が必要である。



鋼製単管

鉄筋コンクリート

木材

写真4 幅広い切断用途

オ 静かな駆動音

駆動音は静かであり、災害現場での指示・命令伝達が容易に行えるなどの利点がある。

3 アンケート調査

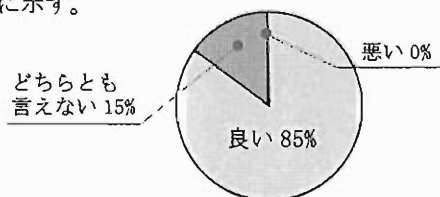
改良を重ねてきた実用初号機について、第二消防方面本部消防救助機動部隊に試験的配置を行い、実災害や写真5に示すように各種訓練などで活用した際の総合的な評価について、アンケート調査を実施した。



写真5 訓練風景

(1) 操作性について

本器具の操作性に関するアンケート調査結果をグラフ1に示す。



グラフ1 操作性

ア 主な意見

操作性についての主な意見を次に示す。

【「良い」の意見】

- 鋼板切断時に火花が出にくく安心して使用できる。
- 操作が非常に簡単である。
- 駆動ホースが邪魔に見えたが、実際には違和感なく操作できた。
- 送水圧力は高いが反動力はなかった。

【「どちらとも言えない」の意見】

- 操作は簡単だが、可搬性・機動性に欠ける。

【「悪い」の意見】

- ホースを含め全体的に重量があり操作しにくい。

イ まとめ

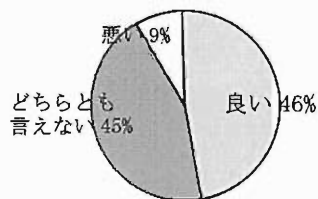
今回の調査期間中において、実災害での活用事例はなかったが、各種訓練を通じ「操作性が良い」が8割以上と、前年度に実施した調査結果（約4割）を大きく上回る高い評価となった。

これは、前年度までの改善要望・意見を取り入れ、更に軽量・コンパクト化するなどの改善効果によるものと考えられる。

しかしながら、「ホースを含めた総重量がまだ重い」という意見も散見されることから、既存のエンジンカッターと同程度まで軽量化することを目標に更なる改善を図ることも必要と思われる。

(2) 取り回し性について

本器具の取り回し性に関するアンケート調査結果をグラフ2に示す。



グラフ2 取り回し性

ア 主な意見

取り回し性についての主な意見を次に示す。

【「良い」の意見】

- エンジンカッターに比べれば可搬性等に制限はあるが、特殊な活動環境下で活用する資器材であり、見た目以上に取り回し性は良好であった。
- 自在金具が付いているので、ホースの取り回しも見た目以上に楽であった。
- ホースを2本も結合し、また送水圧が高いため反動力も相当あると思っていたが、見た目より軽量で、岩などの切断もできるなど利便性が高く良好であった。

【「どちらとも言えない」の意見】

- エンジンカッターに比べると可搬性、取り回し性等に劣るものの、使用後は駆動ホースを切り離し、筒先に変更できるなどの利便性がある。
- エンジンカッターに比べると、駆動ホースがあるため活動場所を移動（転戦）するには複数の隊員が必要となる。

【「悪い」の意見理由】

- 腰位置で保持して切断作業する分には問題はないが、それ以上の高さに持ち上げての作業には器具が重過ぎる。
- 何か所も切断するような細かい作業や足場が不安定な場所では駆動ホースが邪魔になるためホース径を小さくしてはどうか。
- 本体前方に重心位置があるため、縦方向は良いが、横方向などには保持しづらい。

イ まとめ

「取り回し性が良い」は約5割程度となり、前年度に実施した調査結果とほぼ横ばい状態の結果となった。

これは、「見た目以上に取り回しは良かった」という意見がある反面、「駆動ホースが重いため取り回しが悪い」という意見で分かれているためであり、やはり、駆動ホースを含めた総重量の更なる軽量化の必要性があると思われる。

その他では、「駆動ホースをもっと径の小さな軽量ホースへ変更してはどうか」という意見もあるが、専用ホースにした場合、災害現場で破損した場合の代替が無いこと、専用ホースの長さで活動範囲は限定されること、そして専用ホースを積載する車両スペース及び専用的高圧駆動ポンプが必要となるなど、デメリットが多くなることから現行の消防ホースを兼用するタイプとしたものである。

(3) 改良点について

更に効果的な資器材とするために必要と思われる改良点についての主な意見を次に示す。

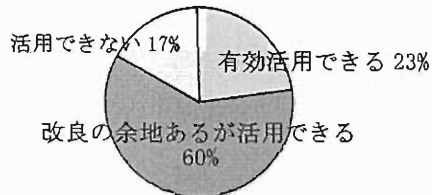
- 充水状態のホースを含めた総重量がエンジンカッター程度まで軽量化して欲しい。
- 切断刃の耐久性の向上を図って欲しい。刃が減ってくると切断性能が著しく低下する。
- 駆動圧力が0.7MPa程度まで下げられれば、分岐金具により、ガンタイプノズルと同時使用ができる。また駆動圧力が下がれば、C級可搬ポンプ等でも活用できるようになる。
- 本体に小型圧力計を内蔵することで送水圧力が適切に管理できる。
- ホースではなく、筒先先端に直接結合できる構造とすれば、切断後離脱して筒先活用できる。

やはり多いのは総重量についてであり、ステンレスから樹脂への変更など軽量化を図る必要がある。

また、今後の水駆動モーターの性能向上により、将来的に0.7MPa程度まで駆動圧が下がれば、ガンタイプノズル等の消火ノズルと同時設定しての活用など活動戦術の幅も広がるようになると思われる。

(4) 有効活用について

多様な災害現場で有効活用できる資器材であるかについて、アンケート調査結果をグラフ3に示す。



ア 主な意見 グラフ3 総合評価

総合評価についての主な意見を次に示す。

【「有効活用できる」の意見理由】

○以前、工場火災で重量シャッターをエンジンカッターで切断時に、酸欠環境下だったのか、フィルターに煙の煤が付着したためなのか不明だが、何度もエンストしたため切断に長時間を要した経験があり、この資器材の有用性を強く感じた。

○特殊資器材で使用頻度は低いであろうが、今まで経験したことのない災害現場などにおいて、選択して使用する資器材の種類が増えることで救助救出方法が増え、活動範囲が広くかつ安全化が図られる。

○切断時の火花が発生しないので毒劇物や化学災害等の現場で何らかの可燃性ガスが検知されたような現場において安全面から見ても画期的である。

○駆動音が静かなため現場での口頭命令伝達が楽にでき、また、今後の多様な災害現場で有効性を発揮すると感じた。

○震災時等、水利が確保できれば燃料の心配（ポンプ車が動く限り駆動できるため）も少なく、エンジンカッターより長時間駆動させることができる。

○水タンク積載のポンプ車に積載すると効果的な活用ができる。

【「改良の余地あるが活用できる」の意見理由】

○利便性を高めるために更なる軽量化を期待する。

【「活用できない」の意見理由】

○分岐金具を使って、一本は駆動ホース、もう一本は援護注水などのような活用を図りたいが、送水圧力が違うので併用できない。

○今までにエンジンカッターが使用できない局面に遭遇したことがないので必要性を感じない。

イ まとめ

前年度実施したアンケートでは、「活用できる」が4割に満たなかったのに対し、今回は「改良の余地はあるが活用できる」も含めると8割以上が「活用できる」という結果となり改良の成果が見られた。

「活用できない」の意見では、災害現場に最先着した消防隊が分岐金具を使って、一本は高圧水駆動カッター用の駆動ホース、もう一本は援護注水などの放水用ホースを同時使用できる隊形としたいが、互いの送水圧力が違うので併用活用ができない、という疑問から否定的な意見となったと考えられる。

これについては、前述(3)「改良点について」の意見でもガンタイプノズルの送水圧力0.7MPa程度まで駆動圧力を低下させれば可能となり、今後の水駆動モーターの性能向上に期待するところである。

しかし、「有効活用できる」の意見にも見られるように、エンジンカッターが使用できない活動環境下において、筒先を進入させるための開口部を設定するのに威力を発揮する高圧水駆動カッターであることから、多少器具が重くとも、また駆動ホースが取り回し性を多少損ねようとも特に気にならないという意見も多い。

(5) 総合評価

今回のアンケート調査結果では、更なる軽量化等の改良の余地はあるものの多様な災害現場で有効に活用できる切断器具として高い総合評価となった。

4 切断刃の性能比較実験

高圧水駆動カッターに使用している従来のダイヤモンド切断刃のほかに、3種類の新型ダイヤモンド切断刃が現在開発中であり、それらの切断刃が火花発生をどれくらい抑制効果があるのか性能を比較実験した。

今回比較する切断刃を写真6に示す。

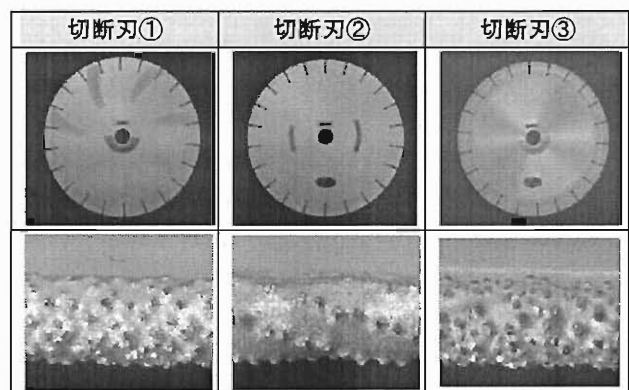


写真6 開発中の切断刃

(1) 比較する各種切断刃

切断刃①は、従来のダイヤモンド切断刃（第1報参照。以下「現行刃」という。）の側面に、鉄砂を吹き付けたシールを貼ったものである。

この鉄砂シール部は、噴射された冷却水の一部を保水することで噴射カバーからの冷却水量を増加させて火花発生を抑制できるのではないかと期待されているものである。

切断刃②は、現行刃のダイヤモンド砥石を「らせん状に配列」させた改良刃である。

現行刃のダイヤモンド砥石は、ランダムに配列されているが、この「らせん状配列」により切削切断時のエネルギーが抑えられ、発生する火花を抑制するものとして研究⁵⁾(参考文献参照)されているものである。

切断刃③は、刃先の板厚がテーパ状に細くなっており、切削切断時にこの細くなった部分から冷却水がより多く切削面に到達することができるため、切断面の発熱を抑えられ、火花発生を抑制できるのではないかと期待されているものである。

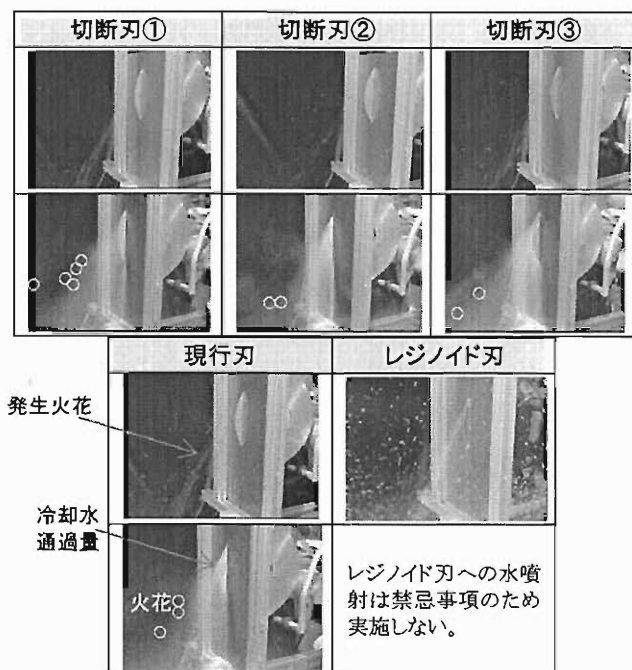
(2) 比較実験内容

これら3種類の切断刃が、現行刃やレジノイド刃(エンジンカッターで鋼材切断時に使用される刃。第1報参照)とどれくらい火花発生量が違うのかについて、冷却水を噴射する場合としない場合について比較実験を行った。

実験装置は、切断試験装置(第1報及び第2報参照)により一般構造用圧延鋼材(SS400)の切断実験を実施した。

(3) 実験結果

写真7の上段は、冷却水を噴射しない場合の火花発生状況を、また下段は、冷却水を噴射した場合の火花発生状況(○印は、飛散火花1個を表す)の画像である。



(上段:冷却水なし 下段:冷却水あり)

写真7 火花発生量比較

また、発生する火花の抑制に必要なとなる冷却水の通過水量及び切断速度の結果を表2に示す。

表2 冷却水の通過水量及び切断速度

	現行刃	切断刃①	切断刃②	切断刃③
通過水量 [ml/sec]	141	40	142	162
切断速度 [mm/sec]	13.0	12.4	19.2	14.2

ア 火花発生量比較について

火花発生量の比較結果を表3に示す。

表3 火花発生量比較

【冷却水を噴射しない場合】
切断刃②<現行刃=切断刃①=切断刃③<レジノイド刃

【冷却水を噴射した場合】
切断刃②=切断刃③<現行刃<切断刃①<レジノイド刃

写真7(上段)のとおり、冷却水を噴射しない場合では、切断刃②が最も火花の発生量は少なく、切断刃①及び切断刃③は、現行刃とほぼ同程の結果となった。

また、冷却水を噴射した場合では、写真7(下段)中の○印の数を見ると、現行刃では3個、切断刃①は5個に対し、切断刃②及び切断刃③は2個と最も少ない火花発生量であった。

イ 冷却水の通過水量比較について

切断刃①の通過水量は1秒間に40mlで、現行刃141mlの約3割程度と非常に少なかった。

また、切断刃②の通過水量は142mlで現行刃と同程度であり、切断刃③は162mlで、現行刃より微増した結果となった。

ウ 切断速度について

切断速度では、切断刃②が1秒間に19.2mmを切断する最も切断速度が早い値となった。

(4) 考察

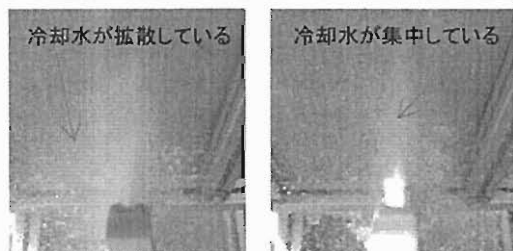
火花発生量を抑制するためには、噴射した冷却水が鋼板の反対側へ通過する水量が多いほど抑制効果は高くなるものと考えられる。

したがって、高圧水駆動カッター用の切断刃に求められる要件を考えると、冷却水を噴射しなくても火花発生量が少なく、かつ、冷却水を噴射した場合においては、その通過水量が多い構造のものが適する切断刃と考えることができる。

この観点から、各切断刃について考察する。

最初に、鉄砂シールが貼られた切断刃①では、写真8に示すように噴射された冷却水が弾かれている。

その結果、冷却水の通過水量は少なくなり、反対に火花発生量は多くなったものと思われる。



切断刃① 現行刃
写真8 冷却水の噴射状況比較

次に、切断時のエネルギーを抑えるものとして研究開発されている切断刃②では、冷却水を噴射しなくとも火花発生量が最も少なく、また、冷却水の通過水量も現行刃と同程度であるため、結果として火花発生量が最も少なくなるとともに、切断速度は最も早く非常に期待できる切断刃であると思われる。

最後に、刃先の板厚がテーパ状に細くなっている切断刃③では、冷却水を噴射しない場合の火花発生量は現行刃と同程度であるが、冷却水の通過水量は最も多いため、結果として切断刃②と同様に最も少ない結果となったものと思われる。

以上から、現時点では「切断時のエネルギーを抑えるものとして研究開発されている切断刃②」が、高圧水駆動カッターに最も適している切断刃であると言える。

なお、切断刃③の実験結果も良好であったことから、切断刃②と切断刃③を各特長を併せ持つ「テーパ状に細くした刃先部分にダイヤモンド砥石をスパイラル配列」した新切断刃の開発が期待される。

5 まとめ

平成21年度は、前年度の改良機を更に改良した実用初号機について、消防活動における有効性を確認するために実地検証を行い、アンケート調査により高圧水駆動カッターの有効性についての総合評価を行った。

また、現在開発されている切断刃を含め高圧水駆動カッターに適するダイヤモンド切断刃についての調査を行い、次のような結果となった。

- (1) 高圧水駆動カッターの有効性に関する総合評価では、「改良の余地は一部あるが有効に活用できる」が8割以上となり、前回の結果を大幅に更新する高い評価を得た。
- (2) 改良に対する意見では、更なる軽量化が第一に挙げられ、また、現行の水駆動モーターの性能向上を図り駆動圧力を0.7MPaまで下げることで、他の放水器具と二又分岐金具で同時使用できることが望まれている。
- (3) 高圧水駆動カッターに適する火花抑制効果の高い切断刃は、現在研究開発中の「らせん状にダイヤモンド砥石を配列した切断刃」が現時点で最適と思われる。

6 おわりに

総務省消防庁が所管する「消防防災科学技術研究推進制度」を活用して産学官連携による共同開発検証を実施し、その成果は平成20年度自治体消防制度60周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資器材等に関する消防庁長官表彰」で特別賞を受賞するなど、内外から高い評価を得ることができました。これも今日に至るまで様々な方々にご協力頂いたお陰であり、ここに厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 5) 稲垣光治：切削切断の低エネルギー化に関する研究、平成21年度横浜国立大学工学部生産工学科卒業研究、平成22年2月

Verification Concerning the High-Pressure Water-Powered Cutter (Part3)

Yasutomo HIBI**, Shinya GOTO*, Sunao TORIYA*

Abstract

The high-pressure water-powered cutter is a new cutting tool using water pressure from a pump truck. This development is a joint project between the Tokyo Fire Department, a private enterprise²⁾ and a university³⁾ funded by the national subsidy program¹⁾ in fiscal 2007 and 2008.

In fiscal 2009, two different kinds of tests were conducted:

1. Tests to verify the effectiveness in firefighting of the first “practical model” (an improved version of the previous year’s modified model)
2. Tests to experiment with the diamond-cutting blade, which generates less sparks when cutting a steel plate.

The “practical model” turned out to be far better than the previous year’s, although there is still room for improvement. It was also highly evaluated by third parties⁴⁾ regarding its effectiveness as a cutting tool in operations involving special incidents.

Furthermore, development of a new cutting blade with reduced sparks is in progress.⁵⁾ When the new model and the new cutting blade are combined, an effective tool will be created.