

チェーンソーの騒音 (II)

二三のリード弁消音器の効果と騒音評価

伏見 知道*・紫垣 英道**・青野 忠勝***

The Noise of the Chainsaw (II)

The effects of some lead valve type silencers
and the evaluation of chainsaw noise

Tomomichi FUSHIMI, Hidemichi SHIGAKI
and Tadakatsu AONO

Summary : Recently, the small, light-weight and high-powered chainsaws have been made by chainsaw manufacturing company. And the front and rear handles are vibration-isolated away from the engine on some rubber mounts. But there are only few chainsaw that the silencer muffles sound for operators ear safely without sacrificing power to the cutting chain.

In the preceding report, the author clarified the silencing effect of the lead valve type silencer of CP-70 at high engine speed and the silencing effect of large volume silencer of Husq. 65. Then the lead valve type silencer was improved. Therefore, following the preceding report, the author measured and analysed the silencing effects of some recent lead valve type silencers and the other large volume type silencer at the point of operator's right ear when he is bucking timber.

Overall noise levels of chainsaws, at 4000-10000 revolutions per minute in racing, were within the range of 92-107 phon (dB-A), but the noise levels of Husq. 180S were lower than that of the other sample chainsaws under 7000 rpm.

Noise rating number of chainsaw, with the only exception of Swedish Husqvarna 180S chainsaw, whose N R number is 95, is 100 at 6000 rpm engine speed in racing, but NR number of all types chainsaw is 105 at 9000 rpm engine speed. The required value to attenuation for NRN 95 is within the range of 3-5 dB at the wide range of 1/3 octave bands.

The attenuated value with lead valve of silencer reach the maximum 12 dB of Homelite XL-123 at 800 Hz (1/3 octave band). The attenuating effect with lead valve of silencer is influenced by the material of lead valve, the ratio of three dimensions of valve and the movable length etc.. The lead valve of silencer increased the back pressure of chainsaw engine and the engine revolution number is widely sacrificed, therefore, the lead valve type chainsaw is compensate for the less by the engine revolution rised over 10000 rpm.

Chainsaw operator needs always the use of ear plug etc. on operating time, because the noise of almost chainsaw are over the allowable limit.

Even now, we deem it a matter of urgency that the active counter-moves are to be taken to lessen the noise of the chainsaw.

*森林工学講座 助教授

**熊本県庁林務部 (元森林工学講座助手)

**附属農業高等学校教諭

要旨 前報で、チェーンソーのリード弁消音器、特殊共鳴型消音器および大容量消音器による消音効果と作業者のための規制基準等を述べた。その後、リード弁消音器も改良されているので、新しい二三のリード弁消音器と大形消音器による、チェーンソー騒音の消音効果を検討し、NR数その他によって聴力保護の立場から評価を試みた。

リード弁による消音効果は、3分1オクターブバンドの800 Hz帯で最大大きいのが、リード弁の材質・形状比、排気口の大きさや位置によって変化する。リード弁消音器の装着による背圧増大の結果、機関回転数の著しい低下がまぬがれない。

作業者の位置における騒音レベルは、大形消音器付機種で低いが、なお、実働時許容基準を越えるものである。したがって、チェーンソー作業時は、全般に耳栓その他の防具の常用が必要であり、消音器の工夫を含めて、消音効果向上に一層の関心を持つ必要がある。

I ま え が き

チェーンソーの小型・強力化が進み、振動の軽減にはかなり関心が払われている反面、騒音の抑制については、排気騒音の消音対策を主体とし、小型単純構造消音器の中に特殊構造を工夫したり、リード弁消音器がかなり実用化されているが、大形化と構造の工夫を組み合わせたといった例は少ない。

一般に、消音器に関する基礎的研究¹⁾²⁾によって、空洞部(膨張室)の形状のうち、最大減衰量に有効な影響を与える因子としては、空洞部の長さ(l)よりも断面積(直径 D)の増加であり、さらには両者の比率(縦横比)が扁平に近づくほど最大減衰量が増すこと($l/D=3\sim 4$ で最大減衰量を示す)が知られている。また空洞部を内部分割すると最大減衰量が増し、特に高周波成分での減衰が著しいこと、さらに、空洞部における吸音物の影響についても、内部壁面が吸音性を持つならば、空洞内面積および内部壁面の吸音率が大きいほど、通過帯域や高周波音に対する吸音効果が増すことが、理論および実験的に確かめられている。

したがって、もともと2サイクル機関では掃気効果促進のため、複雑な構造の排気消音器が不向きであるからといって、容積拡大による消音効果の増大にも限界があるものと思われる。チェーンソーに関する実験例³⁾では、容積500cc、排ガス流路長15cm、内側表面積3000cm²以内が1つの目安で、それ以上では逆効果になる場合もあり、吸音材の内張り効果も横ばい状態を示すに至ることを示している。

先にリード弁消音器に注目し、簡単に解析⁴⁾を行なっているが、リード弁消音器の使用は、高出力機関に性能のよい消音器を取りつけ、消音効果を高めながら消音器の背圧による出力低下を償って、常用性能を高く維持しようとする意図するものであろう。その後、リード弁消音器にも改良点が見られ常用性能の向上につき一層配慮が加えられたものと思われるが、この点については次の機会に譲り、ここでは主として消音効果について、大形消音器と対比検討した結果を報告する。

II 実 験 方 法

供試機は、ホームライト XL 123、マッカラ PM 60、CP 70、SP 80、ハスクバーナ 180 S である。

騒音測定位置は、従来同様玉切り時作業者の右耳の位置とした。指示騒音計(SM 5844)で騒音レベル(dB—A, —C)も測定し、引続き分析機(SA 56 A)で周波数分析を行った。

各供試機の消音器全装時および消音器完全取りはずし時、さらにリード弁型消音器では「リード弁、取りはずし時、外ぶた、および有孔摩擦板取りはずし時についても、空転3000~10000rpmの範囲につき測定分析した。

III 結 果 と 考 察

1) 騒音レベルの変化

実験条件下における、機関回転数の変化に伴う騒音レベルの変化を図—1に示す。

消音器完全取りはずし時の騒音レベルは、気筒排気口が側方にあり、作業者の右耳に最も近いXL 123が

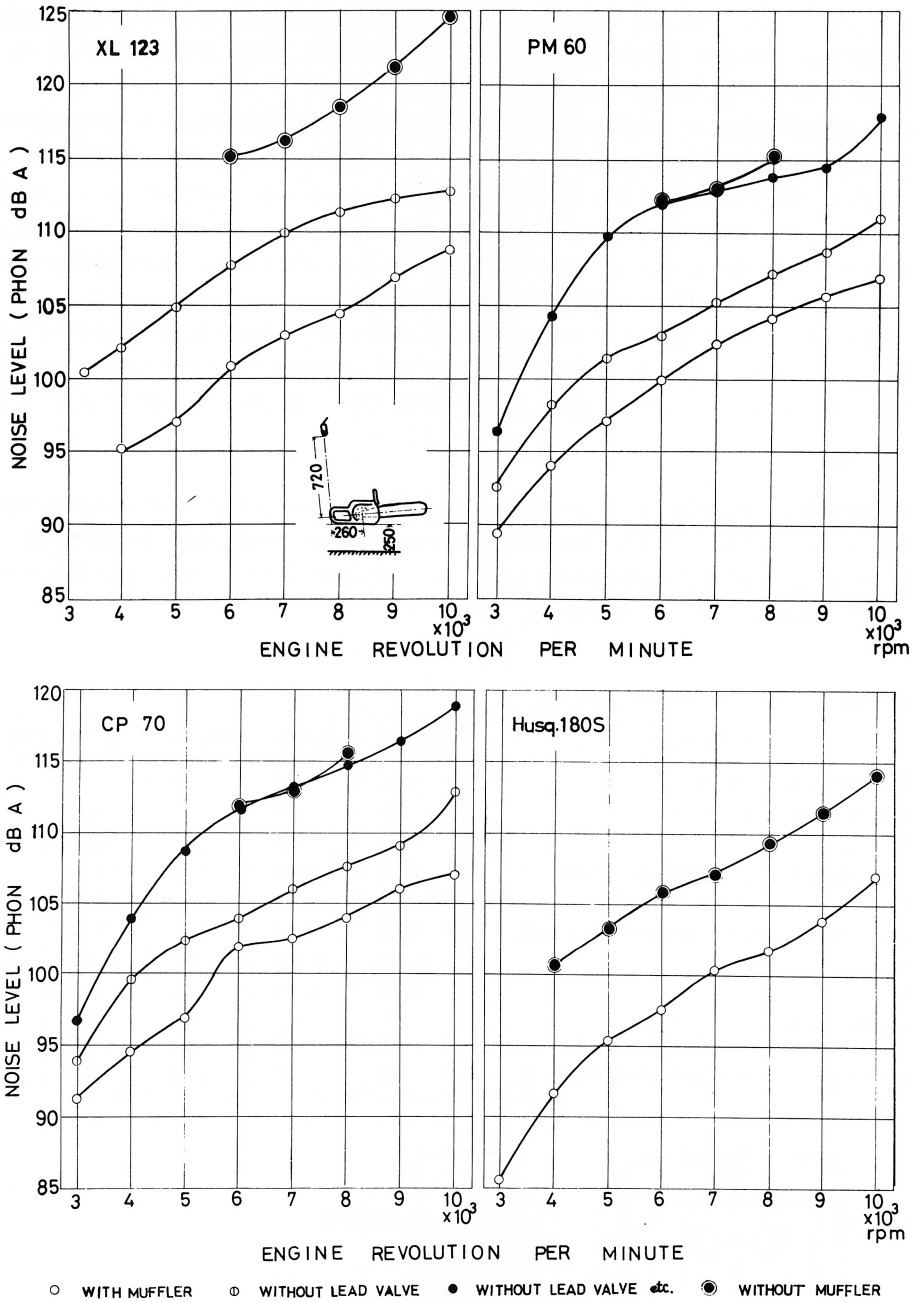


Fig. 1 The noise level of the chainsaw at the level equivalent to the operator's right ear when he is bucking wood

6000~10000rpm で 115~124 dB—A を示し、供試機中最高、気筒排気口が前方にある Husq. 180 S が 4000~10000rpm で 101~114 dB—A で供試機中最低、残る機種は気筒排気口が底部に、消音器排気口は側方にあるが、前二者の中間値を示した。

リード弁型消音器付機種では、消音器完全取りはずし時 6000rpm 以上であるが、騒音レベルは機関回転数の増加

にはほぼ比例して上昇している。このうち、気筒排気口が底部の機種に消音器角筒部だけ取り付け、排気を側方へ導くと、機関回転数 3000~10000rpm で騒音レベルは CP 70 で 97~119 dB—A, PM 60 で 97~118 dB—A となり、両者の排気量の差にもかかわらず、ほぼ同レベルで変化している。

消音器全装時の供試機の騒音レベルの変化を見る。排気量のほぼ等しい XL 123 と PM 60 および排気量のやや大きい CP 70 の三種は、4000~10000rpm の間で 94~107 dB—A, 95~109 dB—A および 94.5~107 dB—A で、排気量の差および排気入口位置の違いにもとづく、消音器気道長の差にもかかわらず、ほぼ近似のレベルと変化傾向を示している。これらに対し、Husq. 180 S では同一回転数域で、92~107 dB—A のレベルで変化し、他機種に比べると 7000rpm 以下で 2~3 dB 低くなっている。測定例中排気量が最も大きいにもかかわらず、消音器排気口が前方にあるのもさることながら、大形消音器による消音効果の結果と思われる。

リード弁を取りはずした場合の騒音レベルの変化を見る。XL 123 で 102~113 dB—A, PM 60 で 98~111 dB—A さらに CP 70 では 99~113 dB—A で、XL 123 のレベルが高く、6000~7000rpm で上方凸形の緩曲線状の変化を示す。リード弁の有無による騒音レベルの変化量は、XL 123 が 7 dB 内外で、他二種の 3~5 dB よりかなり大きい。

2) 消音器

供試機の消音器の構造・諸元は図-2~5 および表-1 に示すとおりである。ただし、CP 70 は前報に掲出しているのを略す。リード弁消音器はいずれも、排気が膨張室の次に 2~3mm 径の多数孔を持った摩擦板を通して、排気出口に至るのであるが、排気は消音器排気出口において、リード弁を押しあげてできる数 mm の間隙から排出されるため、摩擦と干渉を受けエネルギーも減衰する。

Table 1 Dimensions of silencer of chainsaw

Type of chainsaw	XL 123	CP 70	PM 60	SP 80	Hq. 180S
Engine displacement V (cm ³)	58.2	70	60	80	77
Volume of silencer V _s (cm ³)	180	151	118	185	373
V _s /V	3.21	2.15	1.97	2.31	4.84
Area of exhaust inlet of silencer. A ₁ (cm ²)	6.02	3.48	3.57	4.90	3.23
A ₁ /V	0.103	0.05	0.06	0.06	0.04
Area of exhaust outlet of silencer, A ₂ (cm ²)	5.80	2.54	3.70	7.00	2.20
A ₂ /V	0.099	0.036	0.061	0.088	0.028
A ₂ /A ₁	0.96	0.73	1.04	1.43	0.68
Lead valve wide (cm)	2.5	2.4	2.5	2.6	—
mobile length (cm)	4.5	4.9	3.7	5.5	—
Ratio of area covered with lead valve to A ₂	100	100	91.9	89.3	—

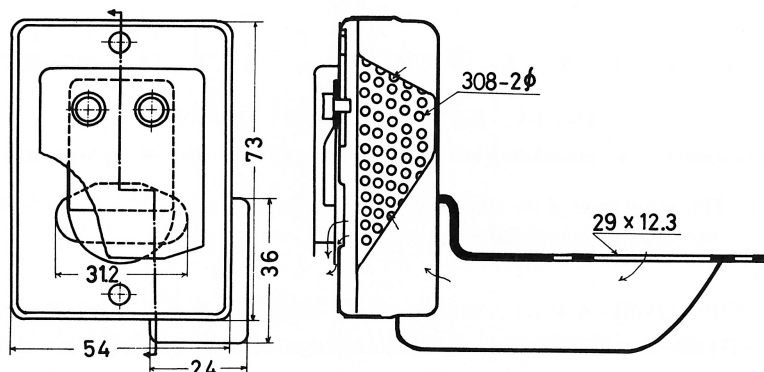


Fig. 2 Muffler of 'ProMAC.60' chainsaw

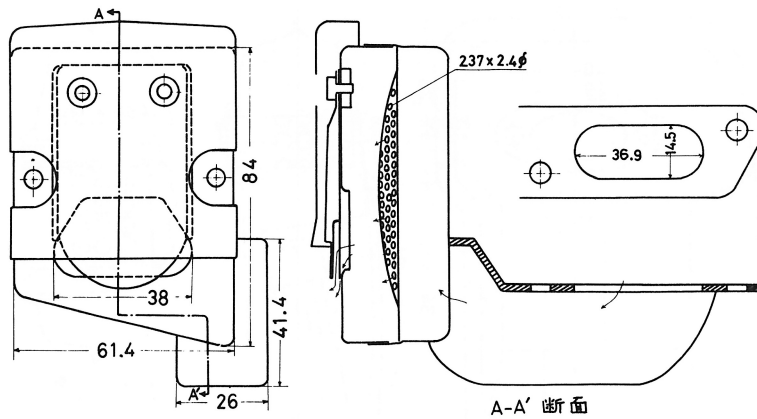


Fig. 3 Muffler of 'MAC.SP-80' chainsaw

PM 60 の消音器は、排気入口から有孔摩擦板まで、CP 70 や SP 80 の消音器とはほぼ同形である。ただし、CP 70 に比べると消音器の排気入口からの筒部がやや大きく、排気入口面積の機関排気量に対する比率も 0.06 でやや大きくなっている。PM 60 の消音器では摩擦板から排気出口までの深さが、CP 70 のそれより浅くなっているため、消音器全体の容積が小さく、機関排気量に対する容積比は CP 70 の場合の 2.15 に対し 1.97 とやや小さくなっている。これは、単に小型化されたエンジンの側方に消音器だけが突出するのを避けたためで、消音器の違いは、主として消音器における排気出口の形式と大きさおよび消音器排気入口の大きさの変化にあるといえよう。消音器排気出口は、CP 70 では円形で小さく、完全にリード弁でおおわれるが、PM 60 では両角隅円弧の台形を基本とし、リード弁の外側に開放部（全面積の 8%）を残すことにより、排気の一部がリード弁の干渉を受けずに、直接排出されるようになっている。

SP 80 のリード弁消音器も、PM 60 のそれと同形式で、機関排気量に対する消音器排気入口面積の比率も同じである。SP 80 は機体も大きく、消音器もやや大形となり、その容積の機関容積に対する比率も 2.3 で同一形式をとりながら、大形化による性能向上の意図がうかがわれる。

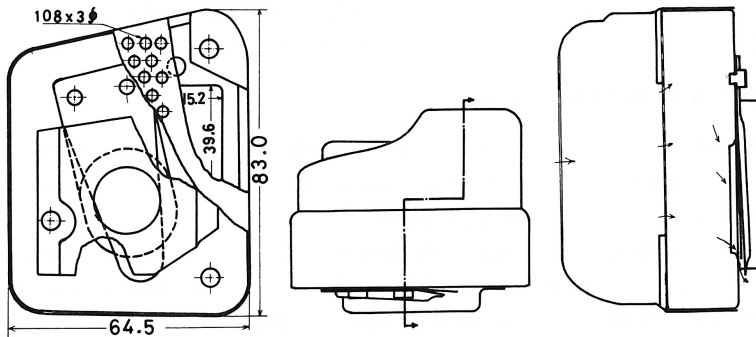


Fig. 4 Muffler of 'Homelite XL-123' chainsaw

XL 123 のリード弁消音器は、機関排気口が側方に設けられているため、単純箱形構造である。機関排気量に対する消音器排気入口面積の比率は 0.1 で、供試器中最大、また消音器容積と排気量の比は 3.2 で、供試リード弁消音器中最大である。消音器排気出口は、偏平円形で全面リード弁でおおわれるが、その大きさはかなり大きく、同程度排気量の PM 60 のその約 1.5 倍である。

以上の小型リード弁消音器に対し、Hq. 180 S の大形消音器の例は、偏平角形の二段摩擦膨張型で、その容積の機関排気量に対する容積比は 4.8 倍で、前者の比率の 2 倍前後になっている。

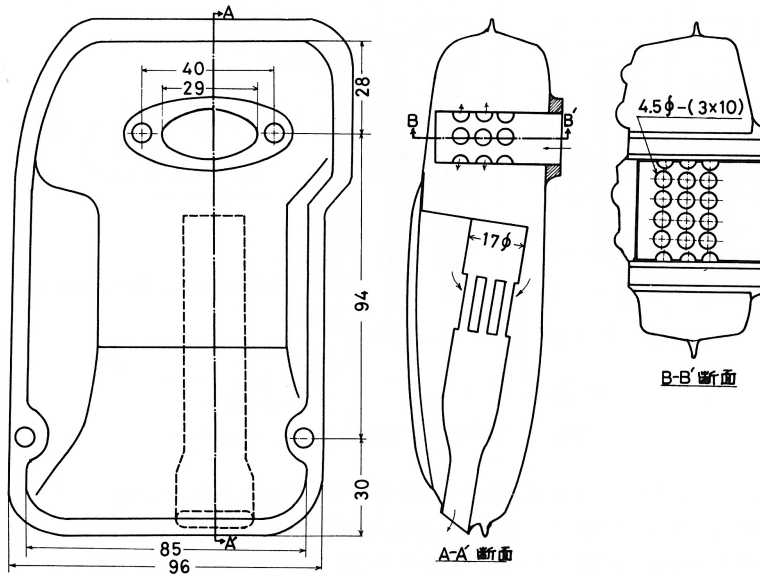


Fig. 5 Muffler of 'Husqvarna 180S' chainsaw

供試機の消音器を着脱した時の機関回転数の変化について、騒音レベルの項で注目したが、上記消音器構造とあわせ考察してみる。図一に示すように、消音器全装時空転3000 rpmを示す状態で、消音器を取りはずすと、6000 rpmを示し、同一機関運転状態で3000 rpmの差を生ずる。これはリード弁消音器装着供試機に共通した現象であるが、Hq. 180 Sが空転3000 rpmから、消音器取りはずしにより4000 rpmに1000 rpm上昇するのに比べると、著しく大きな変化である。このことは、機関排気口がチェーンソー底部にある場合は、排気を狭い筒部で側方へ誘導しリード弁の干渉を受けることによって、および機関排気口が側方にある場合は明らかにリード弁によって、機関の背圧が増大し、著しく回転数を低下させるに至ることを示すものに他ならない。

これらリード弁消音器による機関回転数の低下は、機関自体の最高回転数を毎分1万数千回転に増大することにより補償され、チェーンソーの常用性能を高く維持しながら、排気音に対する消音効果を高めるものであり、チェーンソー騒音の消音対策としては、1つの有効な考え方として評価されるものである。

3) 騒音分析と作業者に及ぼす騒音の評価

供試機中4例の空転時騒音の、3分1オクターブバンド分析結果を図一6-8に示す。各図とも、機関回転数に対応した基本波と、その高調波およびその他の高周波成分からなる高いレベルの波形が認められるが、消音器の着脱やリード弁の有無等により、それぞれ特徴ある波形を構成している。

XL 123では(図一6)、機関排気音は基本波と800 Hzを中心とした2サイクル機関の燃焼音成分を突出させた山形波形を示すが、消音器により突出部分が著しく減衰されている。また、有孔摩擦板と箱体部での摩擦膨張効果による減衰は、6000rpmの500 Hz帯以上の周波数成分で著しいが、9000rpmでは消音効果がやや劣り、むしろリード弁による400~1280 Hz帯域での減衰効果が著しい。

PM 60では(図一7)、機関排気音は基本波成分と500 Hzから1250 Hz帯に突出した山形の大きな成分からなるが、機関燃焼音成分である800 Hz帯のレベルはいくらか低い。消音器装着により400 Hzから2000 Hz帯域にかけてかなり減衰し、特に1250 Hz帯での減衰が著しい。9000rpmでは、さらに2500 Hzから6300 Hz帯にかけてもかなり減衰している。基本波成分での減衰効果は、いずれの回転数でもあまり大きくない。

リード弁の消音効果については、前報で取りあげたCP 70を含めて、別項にまとめて述べる。

Hq. 180 Sは(図一8)、機関排気音は基本波成分と400 Hz帯および800 Hz帯に高いレベルを含む山形成分からなり、XL 123のそれに近似している。消音器装着時は、回転数が高いほど、広い周波数域にわたって減衰効果が認

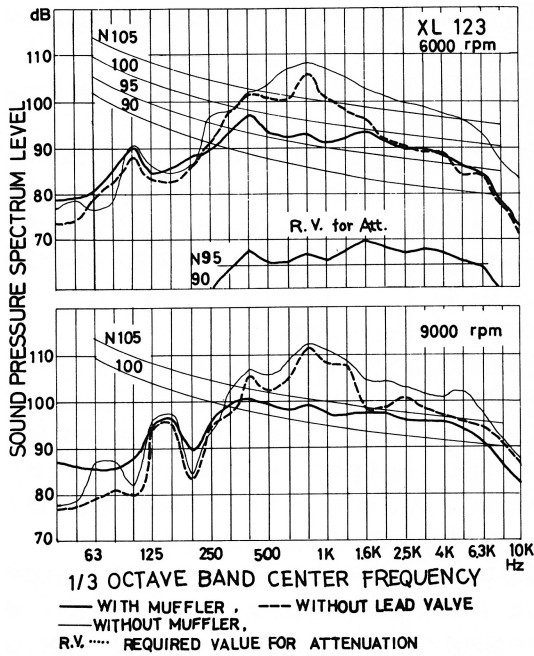


Fig. 6 The frequency analysis of 'Homelite XL123' chainsaw noise and the required value for attenuation

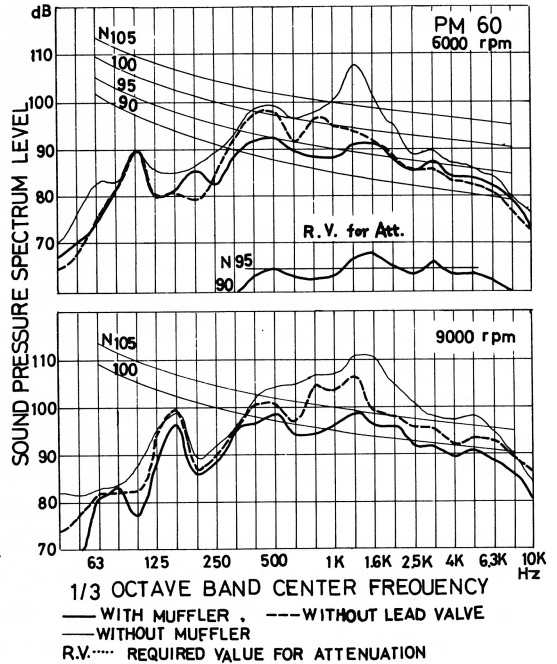


Fig. 7 The frequency analysis of 'McCulloch PM 60' chainsaw noise and the required value for attenuation

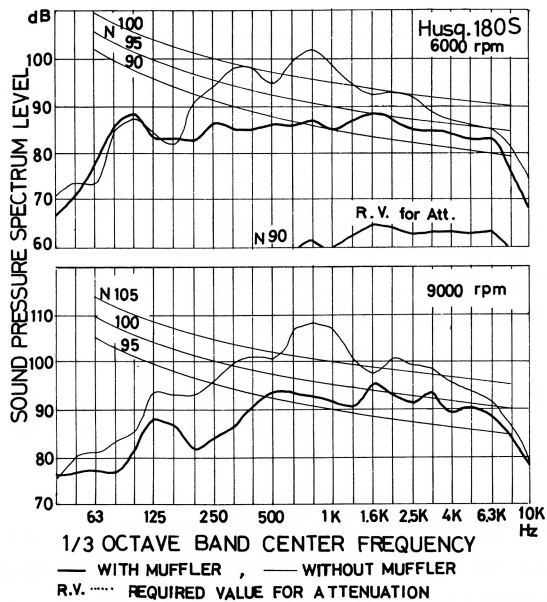


Fig. 8 The frequency analysis of 'Husqvarna 180S' chainsaw noise and the required value for attenuation

められる。しかし、4000 Hz 帯以上での消音効果が比較的小さいが、消音器取りはずし時のレベルが、他供試機に比してもかなり低いので、この点を欠点とはいえない。この消音器の二段摩擦膨張効果によって、機関燃焼音の主

成分である 600~800 Hz 帯が著しく減衰している。9000rpm では、特に基本波をはじめ 400 Hz 帯以下の成分の減衰もかなり見られ、他の供試機の消音効果とやや趣を異にしている。

これら騒音分析結果を、オクターブバンド値に合成し、ISO の提案に従って騒音評価指数 (NR 数) を求め、前記分析図に 3 分 1 オクターブバンドに対する NR 曲線として表示している。

作業者の聴力保護の立場での騒音評価結果は、消音器完全装備の 6000rpm では、XL 123 および PM 60 が $N=100$ で、永久的難聴を生じないためには、10 分間の暴露に対し 8 分の休みを必要とし、Hq. 180S は $N=95$ で、10 分間の暴露に対し 4 分の休みを必要とする。空転 9000rpm での評価結果は、3 機種とも $N=105$ で、10 分間の暴露に対し 36 分の休みが必要である。しかし、 $N=100$ にするための必要減衰量、すなわち $N=100$ を超える周波数成分とその大きさを見ると、XL 123 が最も広い帯域にわたり、しかも高いレベルであるのに対し、PM 60 ではかなり狭い帯域成分となり、Hq. 180 S では 1.6 KHz と 3.2 KHz の 2 帯域成分が僅かに超過しているだけである。

これら騒音に対し、ISO の $N=85$ に準じ、チェーンソー作業の厳しい騒音を考慮し当面の目標として提案したチェーンソー騒音の規制基準のうち、空転 6000rpm で $N=95$ を適用してみる。Hq. 180 S が基準内に入るが、他の機種が基準内に入るためには、XL 123 が 400 Hz から 5000 Hz 帯域で最大 5 dB 以上、PM 60 が 1250 Hz から 3200 Hz 帯域で最大 3 dB 以上の減衰が必要である。さらに、あらためて提案した規制基準⁴⁾の空転 6000rpm で $N=90$ に対しては、Hq. 180 S が 800 Hz から 6300 Hz 帯域で最大 5 dB の減衰を、XL 123 が、320 Hz から 6300 Hz 帯域で最大 10 dB 以上の減衰を、また PM 60 が 400 Hz から 6300 Hz 帯域で最大 8 dB 以上の減衰を必要とする。

日本産業衛生協会⁵⁾は、ISO 1967年の新提案に対応し、1969年に、聴力保護の立場から次の騒音に関する許容基準を勧告している。すなわち、騒音が、この基準以下であれば、1日8時間以内の暴露が常習的に10年以上続いた場合にも、永久的聴力損失 (NIPTS or PTS) を 1 KHz 以下の周波数で 10 dB 以下、2 KHz で 15 dB 以下、3 KHz 以上の周波数で 20 dB 以下にとどめることが期待できる。1日の騒音暴露が断続的な場合は、騒音の実効休止時間を除いた暴露時間の合計を連続暴露の場合と等価な暴露時間とみなして基準を適用する。この許容基準を 3 分 1 オクターブバンドの図にまとめると、図-9 のようになる。

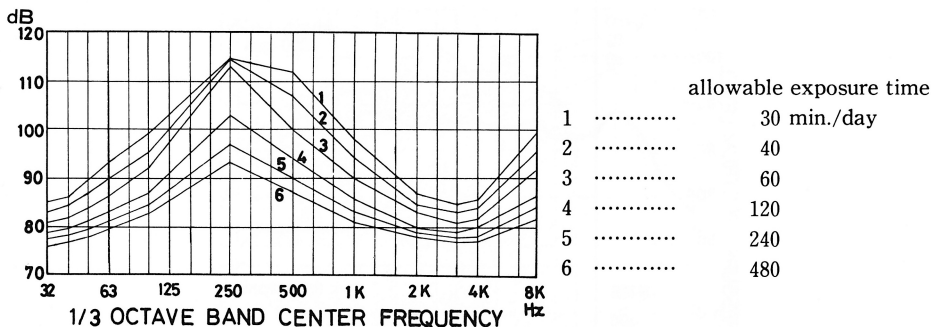


Fig. 9 Tolerance criterion of noise

この許容基準によって、各供試機騒音の前出分析結果を検討すると次のようになる。許容基準内に入るのは Hq. 180 S の空転 6000rpm だけで、それも 1 日合計 30 分以内である。9000rpm では 1.6 KHz から 4 KHz 帯域の成分が最大 8 dB 超過し、許容時間は 1 日 30 分以下である。

PM 60 は空転 6000rpm で、1.6 KHz から 3.2 KHz 帯域の成分が最大 4 dB 超過し、9000rpm では 1.25 KHz から 5 KHz 帯域の成分が最大 8 dB 超過している。また、XL 123 は空転 6000rpm で、1.6 KHz から 4 KHz 帯域の成分が最大 5 dB 超過し、9000rpm では、1.25 KHz から 5 KHz 帯域の成分が最大 12 dB 超過していて、この両機種では空転 6000rpm でも、許容暴露時間は 1 日 30 分以下である。この結果は、現状では、チェーンソー作業において、許容基準の前提となっている永久的聴力損失をまぬがれるためには、耳栓、耳マフその他の防音具の使用が絶対に必要であることを明らかにしている。

上の許容基準を騒音レベルで示すと、騒音計の A 特性で測定した 90 ホン (dB-A) が、8 時間暴露に対する許容基準におおむね相当する (原則として周波数分析による)。いま合衆国の職業安全健康条令 (OSHA, 1970) に示された、1 日当り騒音暴露最大限度の規制値を表-2 に見ると、最大 8 時間暴露に対し、90 dB-A となっている。これ

は欧州諸国の 85 dB-A より高く、低くすべきであるとの意見があるが、将来技術水準が高められれば改訂されるであろうが、現状ではやむを得ないとの見解のようである。

Table 2 maximum Noise Exposures (OSHA, 1970)

Duration per day,	Sound Level dB (A), slow
8 Hours	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1½	102
1	105
½	110
¼	115

このように、チェーンソー騒音のレベルは非常に高く、騒音規制のための積極的工夫が少なく、この面に対する関心の薄さが、この結果を示しているものと嘆かざるを得ない。

4) 周波数分析から見たリード弁の効果

マフラー完全装備時とリード弁取りはずし時の騒音分析結果から、各機関回転数ごとに、リード弁の有無による周波数帯ごとのレベルの差を求め、これをリード弁による効果とし、その変化を図-10 に示す。図中負数はリード弁装着による減衰量を、正数は逆にレベルが増大した量を示している。

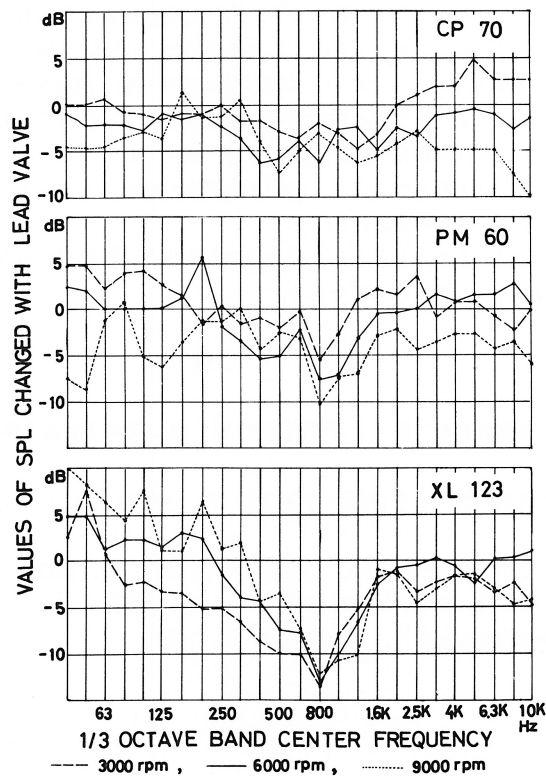


Fig. 10 The attenuation effect to the chainsaw noise with the lead valve of muffler

CP 70 では、3000rpm の 63 Hz 帯および 2500 Hz から 8000 Hz 帯と、9000rpm の 160 Hz 帯および 320 Hz 帯でレベルが増大し逆効果となっているが、その他の成分ではいくらかの減衰効果を示している。各回転数に共通した大きな減衰を示す周波数帯は認められないが、6000rpm および 9000rpm では、400 Hz から 2500 Hz 帯の成分において、かなりの減衰が目立つ。9000rpm では、より高い周波数帯域でも、同様の減衰を示す点は、PM 60 と似ている。

PM 60 の 3000rpm では、800 Hz から 1000 Hz 帯で減衰効果がみられ、160 Hz 帯以下および 1200 Hz から 2500 Hz 帯域ではレベルが高く逆効果を示す。6000rpm では、250 Hz から 1200 Hz 帯域で減衰量が大きく、200 Hz 帯および 3150 Hz から 8000 Hz 帯域では逆効果になっている。9000rpm では、80 Hz 帯および 320 Hz 帯を除く全周波数帯域において減衰効果が認められる。各回転数を通じて 800 Hz 帯域で減衰量が大きく、その最大量は 10 dB 程度で、回転数が小さい程減衰量が小さい。高い周波数帯における減衰効果は、9000rpm で XL 123 に似た傾向を示すが、その他の回転数では、減衰効果が少なく、むしろ逆効果になっている割合が多い。

XL 123 の 4000rpm では、315 Hz から 1200 Hz 帯域で減衰効果が著しい。6000rpm では、250 Hz から 1600 Hz 帯域で減衰効果が高いが、200 Hz 帯以下では逆効果になっている。9000rpm では 400 Hz から 1200 Hz 帯域で減衰効果が高いが、325 Hz 帯以下ではかなり逆効果になっている。各回転数を通して、800 Hz 帯で減衰量が最も大きく、12 dB 以上に達し、PM 60 のそれより大きい。800 Hz 帯の上下の周波数帯域では、減衰量が次第に少なくなり、1600 Hz 帯以上の帯域ではきわめて類似した様相を示すのに対し、低い周波数帯域では回転数間でかなりの差が認められる。

IV む す び

前報に続き、チェーンソーリード弁消音器と大型消音器による消音効果を、作業者の位置において検討した。

小型リード弁消音器の効果はかなり大きいですが、そのための背圧増加に起因する機関回転数の低下も大きい。消音器の排気出入口を大きくし、リード弁幅より広く取ったり、機関最高回転数を高めることにより、チェーンソーの常用性能の低下をおさえていると思われる。リード弁による消音効果は、800 Hz 帯域（オクターブバンド分析結果では、1000 Hz 帯域に含まれる）で最も大きく、その上下の周波数帯域では低い傾向が見られるが不明確な例もあり、リード弁の材質、厚さ、可動長、および排気出口の大きさや位置等によって影響されるものであろう。

作業者の位置における騒音レベルは、前報同様、大型消音器付機種で低い。しかし、それでもなお、実作業時には、聴力保護のための許容基準を越えるものであり、労働衛生安全の見地からは、チェーンソー作業時には、耳栓その他の防音具を常用すべきであることが再認された。

チェーンソー機関の排気口の位置もさることながら、消音器の大型化と特殊構造の組みあわせによる消音効果の増強について、一層の関心を深めることを望むものである。

文 献

- 1) 福田基一：内燃機関の排気消音器に関する基礎的研究(第1報)，機械学会論文集，26：192，1960：(第3報)，28：122，1962
- 2) 福田・城戸・二村：消音器における吸音物の効果(第1報)，音響学会誌，15：4，1959：(第2報)，16：1，1960
- 3) 鈴木皓史：チェーンソーの消音器とその効果，日林講集，82：287～291，1971
- 4) 伏見知道：チェーンソーの騒音，愛媛大演習林報告，8：17～31，1971
- 5) 日本産業衛生協会：許容濃度等の勧告，産業医学，11：6，1969

(1974年3月26日受理)