

フロントロータリ式小型耕うん機における 同軸同時正逆転ロータリの研究

Study of Coaxial Counter Rotating Rotary Tilling System at Front Rotary Type Compact Walking Tractor

太田 能 司*

Yoshitaka OHTA

永岡 政 敏*

Masatoshi NAGAOKA

大窪 晋*

Susumu OHKUBO

永野 敬 二*

Keiji NAGANO

飯野 啓 司*

Keiji IINO

片桐 信 近*

Nobuchika KATAGIRI

要 旨

後ろに駆動輪、前に耕うん軸がある「フロントロータリ方式」の小型耕うん機に関して、駆動輪と同じ方向に回転する「正転ロータリ」と、同軸上で互いに逆に回転するつめを持つ「同軸同時正逆転ロータリ」の各々の耕うん反力が挙動及び耕うん深さに及ぼす影響について、耕うん反力シミュレーションプログラムを用いて予測し、更に実機テストを行って相関を調べた。フロントロータリ方式の歩行型耕うん機においては、同軸同時正逆転ロータリを採用することで機体挙動を安定させる効果に加えて、正転ロータリの約2倍の耕うん深さを得る効果が確認された。

ABSTRACT

The computer simulation of tilling force has been conducted to a compact walking tractor that equipped with driving wheels and a rotary shaft in its rear and its front respectively to estimate the effect which the tilling force having a down cut rotary and a coaxial counter rotating rotary cause to the behavior and the depth of the tractor. The tractor uses a down cut rotating tine that rotates to the same direction of the driving wheels, and the coaxial counter rotating tines that rotates on the same shaft simultaneously. Further, an actual machine test was conducted to examine the correlation between the estimation and the test result. It was demonstrated that by using the coaxial counter rotating rotary, the effect not only stabilize the behavior of the tractor but accomplish twice the depths of a normal rotary's can be obtained.

1. はじめに

つめを耕うん軸回りに回転させて土を耕すロータリ耕うん方式の小型耕うん機には、耕うん軸と別に駆動輪を持つ形式のものと持たない形式のものがある。

駆動輪を持つ形式のものには、駆動輪の後方に耕うん軸がある「リヤロータリ方式」(Fig. 1)と、駆動輪の前方に耕うん軸がある「フロントロータリ方式」(Fig. 2)がある。

リヤロータリ方式には、耕うん反力の方向が重心付近を通るので耕うん反力の変動によって機体が不安定になりやすく、また同じ理由で耕うん反力による耕うん軸の浮き上がりが起こりにくいので深く耕すのに適する利点がある。

しかし、旋回時に耕うん軸を地面から浮かせて旋回する時のハンドル引き上げ荷重を軽くできる位に前方で、かつその時耕うん軸を必要な高さまで持ち上げられる程度に高

い位置に原動機を搭載しようとすると、機体が長大化する上に重心が高くなりすぎて不安定になる。このため、通常原動機の搭載位置は駆動輪に近く低い位置としながら前方下側に鉄製のバランスウェイトを取り付けることで重心位置を調整するので、そのウェイト分機体が重くなる(Fig. 3)。

加えて、耕うん軸の前にはタイヤと原動機、後ろにはハンドルがあるため、周囲に壁があるような狭いほ場では壁際まで耕うんすることができない欠点がある。

一方、フロントロータリ方式には、前に耕うん軸があるため壁際まで耕うんでき、また駆動輪の後ろにハンドル、前に原動機を置くことでバランスウェイトを付加することなく重心位置を適正化できるので機体重量を軽くでき、しかも原動機がオーバーハングしないため機体をコンパクトにできる利点がある。

但し、リヤロータリ方式とは逆に耕うん反力の方向が重

*朝霞東研究所

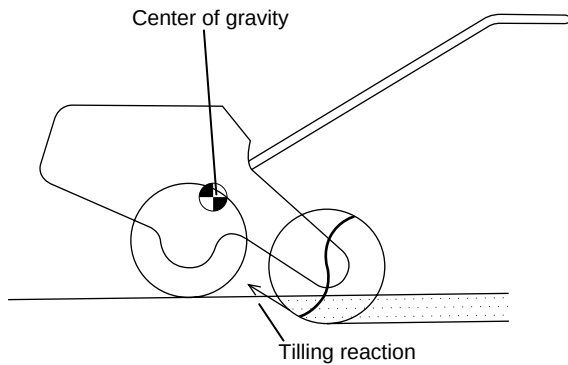


Fig. 1 Rear rotary walking tractor

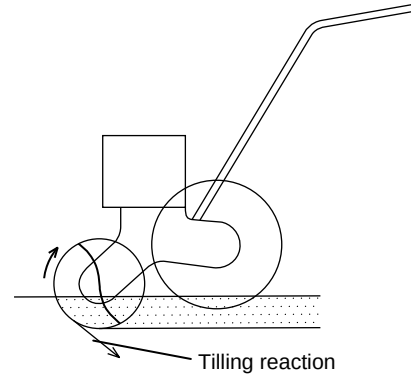


Fig. 4 Front rotary walking tractor with up cut tilling

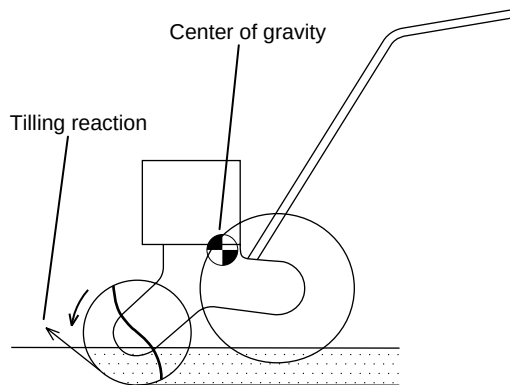


Fig. 2 Front rotary walking tractor

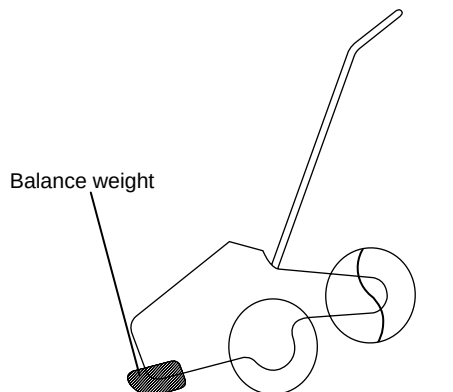


Fig. 3 Turning position of rear rotary walking tractor

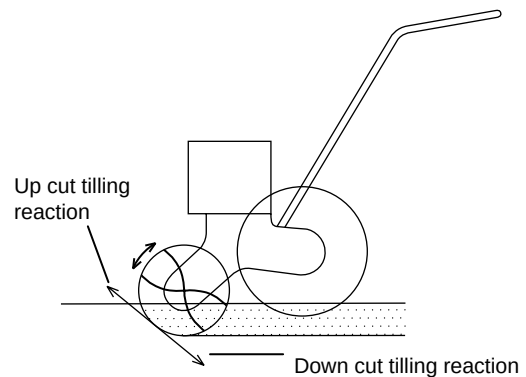


Fig. 5 Front rotary walking tractor with coaxial counter rotate tilling

心から大きく離れているため、耕うん反力の変動によって機体挙動が不安定になりやすい欠点がある。

加えて、駆動輪の回転方向と耕うん軸の回転方向が同一である正転ロータリを採用すると、耕うん反力による耕うん軸の浮き上がりが起こるので深く耕すのに適さず、一方、耕うん軸を駆動輪と逆方向に回転させる逆転ロータリを採用すると (Fig. 4)、つめが土に食い込んで機体が後ろ向きに飛び出すいわゆる「ダッシング現象」が起きやすくなり、いずれも使い勝手が良くない。

そこで、正転のつめと逆転のつめが同軸上で回りながら耕す事で耕うん反力を相殺するためダッシング現象が起らず安定して深く耕せる事から既にリヤロータリ方式で高い評価を得ている「同軸同時正逆転ロータリ」をフロントロータリ方式と組み合わせれば (Fig. 5)、耕うん反力の変動が抑えられて機体挙動が安定し、耕うん軸の浮き上がりもダッシングも抑えられて、従来にない「軽量コンパクトでありながら、深く安定してしかも壁際まで耕せる耕うん機」を作れると考えた。

そこで耕うん反力から機体挙動を予測する事で上記効果を検証し、更に実機テストとの相関を確認したのでここに報告する。

2. 耕うん性能の予測

2.1. 耕うん反力の計算

正転ロータリと同軸同時正逆転ロータリとの耕うん反力を各々耕うん反力シミュレーションプログラム⁽¹⁾により計算した。つめはFF300 (弊社フロント同軸同時正逆転ロータリ耕うん機) 用に新設計したものを使用、つめ配列は耕うん反力の上下方向成分の変動が最小となるよう等打込間隔とし、なおかつヨーイング、ローリング各モーメントの変動も

最小となるよう左右交互打ち込みとした。耕幅は 450mm, つめ径は ϕ 280mm, 耕うん深さは 120mm, 車速は 0.15m/sec, ロータリ回転数は 130rpm とした。土壌硬度は一般的な未耕地を想定して, 山中式土壌硬度計にて 20 相当とした。

つめ配列を Fig. 6 及び Fig. 7 に, 出力結果を Fig. 8 及び Fig. 9 に示す。出力結果の 6 分力の定義は Fig. 10 を参照のこと。

2.2. 機体挙動の予測

Fig. 10 に示す耕うん反力の 6 分力が作業時の機体挙動に及ぼす影響を考察する。

ヨーイングモーメント M_z と横荷重 F_x は機体にヨーイングを発生させ, 結果として直進安定性を悪化させる。

前後荷重 F_y は機体の推進力に影響し, タイヤにスリップを生じさせ, 結果として耕うん時の対地車速を増減させる。

垂直荷重 F_z とピッチングモーメント M_x は, タイヤ接地地中心回りに耕うん軸が浮き上がる(+), または沈み込む(-)方向に作用するが, 自重によって耕うん軸を下向きに押し付けるモーメントよりも大きいモーメントが浮き上が

る(+)方向に働くと, 耕うん軸が浮き上がって耕うん深さが浅くなる。

逆に沈み込む方向は, 通常耕うん軸の前に耕深調整輪が取り付けられている為, 実際に沈み込むことはない。

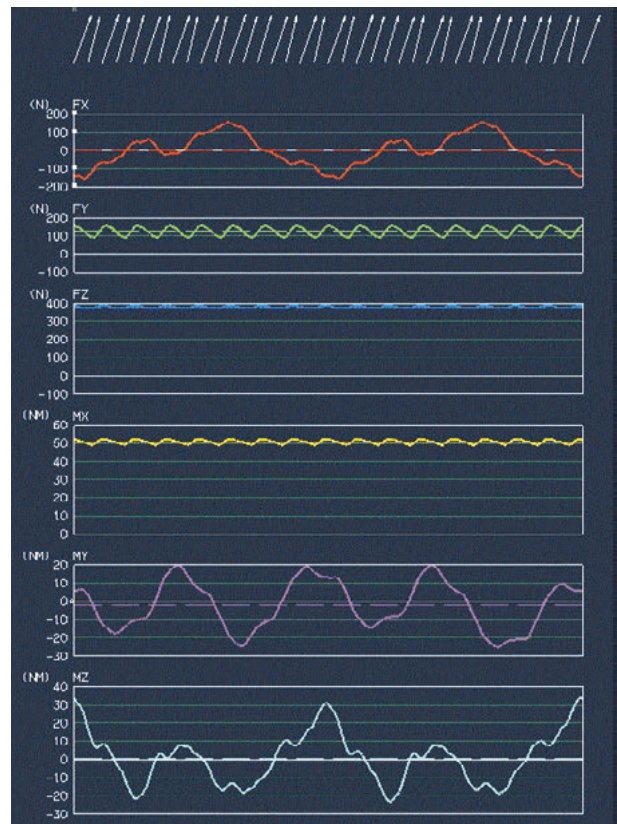


Fig. 8 Simulated result of down cut tilling reaction

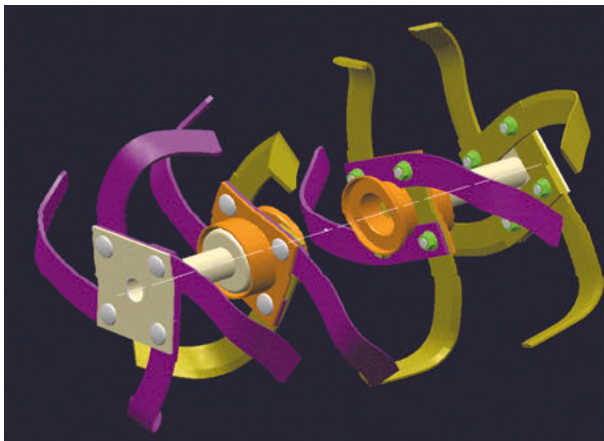


Fig. 6 Tine layout of down cut tilling

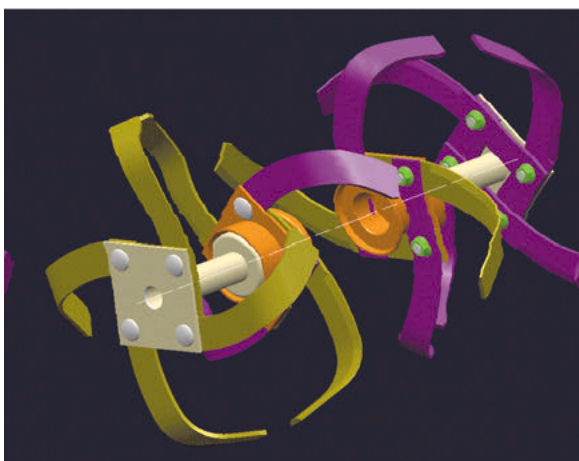


Fig. 7 Tine layout of coaxial counter rotate tilling

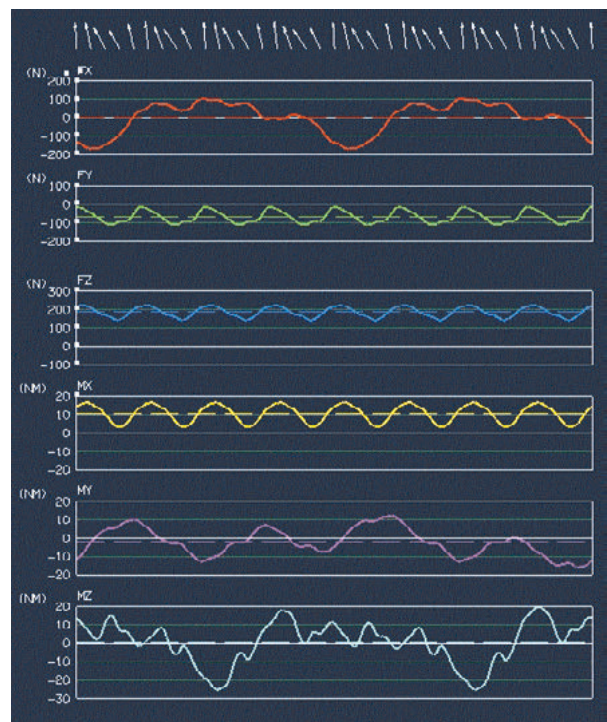


Fig. 9 Simulated result of coaxial counter rotate tilling reaction

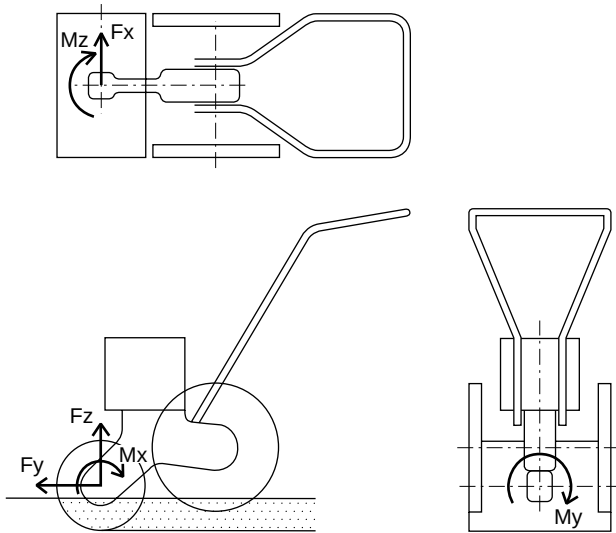


Fig. 10 Six components of tilling reaction

ローリングモーメント M_y は機体にローリングを発生させ、結果として水平に耕せない、または安定して耕せないという事象を起こす。

これら機体挙動の中で、耕うん深さに影響する耕うん軸の浮き上がりについて実際の機体諸元と計算結果から正転ロータリ(以後“正転”と略す)と同軸同時正逆転ロータリ(以後“正逆”と略す)の差について検証する。

タイヤの沈下量については、FF300 での実測値から耕うん前の地面より 20mm 沈下するものとした。

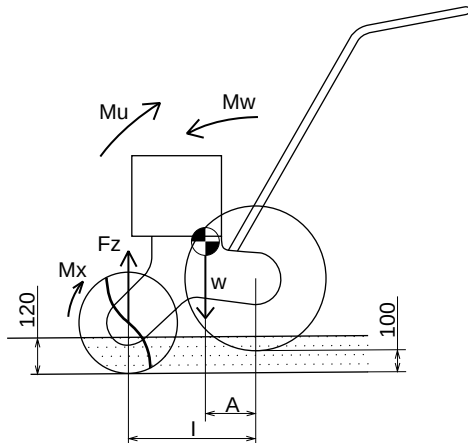


Fig. 11 Moment of tilling reaction and gravity moment on the ground contact center of tires

タイヤ接地中心回りの浮き上がりモーメントの平均値 $\overline{Mu}$ は

$$\overline{Mu} = \overline{Mx} + l \cdot \overline{Fz} \quad (1)$$

自重によって耕うん軸を押し付けるモーメント M_w は

$$M_w = W \times A \quad (2)$$

ここで、耕うん反力によって耕うん軸が浮き上がらないためには次式を満足しなければならない。

$$M_w > \overline{Mu} \quad (3)$$

そこで FF300 の機体諸元と Fig. 8 及び Fig. 9 の計算結果の F_z , M_x の平均値からこの関係を満足するか検証してみる。

Table 1 Comparison of moment of tilling reaction and gravity moment

l(m)	A(m)	W	Mw(Nm)	Rotating direction	$\overline{Mx}$	$\overline{Fz}$	$\overline{Mu}$	Judgment
0.347	0.18	480N	86	Down cut	51	380	183	$M_w < \overline{Mu}$
				Coaxial counter rotating	11	180	73	$M_w > \overline{Mu}$

正転では $M_w < \overline{Mu}$ となり耕うん軸の浮き上がりが発生するが、正逆転では $M_w > \overline{Mu}$ となり浮き上がりが発生しないという計算結果が得られた。

2.3. 耕うん深さの予測

耕うんできる深さは M_w と $\overline{Mu}$ が釣り合う深さと考えられるので、 $\overline{Mu}$ が耕うん深さ d に比例すると仮定すれば、Table 1 の M_w と $\overline{Mu}$ の比から耕うん深さ d を推定できる。

M_u は耕うん深さ 120mm のときの推定値であるから d は(4)式により推定される。

$$d = 120\text{mm} \times \frac{M_w}{\overline{Mu}} \quad (4)$$

計算結果を Table 2 に示す。

Table 2 Estimation of tilling depth

	Mw (Nm)	$\overline{Mu}$ (Nm)	d (mm)
Down cut	86.4	183	56.7
Coaxial counter rotating	86.4	73	142

正転と正逆転では約 2.5 倍の差となった。

3. 実機テストとの相関

以上の計算結果と実機でのテスト結果との相関を検証する。供試機の主要諸元を Table 3 に示す。

3.1. 直進安定性

直進安定性は M_z と F_x の変動幅が影響すると考えられる。Fig. 8 及び Fig. 9 より M_z の変動幅、 F_x の変動幅を Table 4 に示す。

M_z , F_x , いずれも正転の数字が大きい、すなわち直進安定性が悪いと予想される。

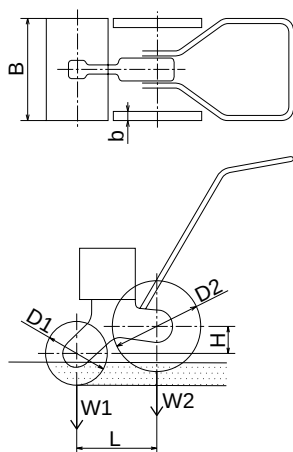


Fig.12 Explanation of Table 3

Table 3 Specifications of test machine

W1	249N
W2	231N
D1	280mm
D2	400mm
L	0.347m
H	0.160m
b	40mm
B	450mm
Vehicle speed	0.15m/sec
Tine rotating speed	130rpm

Table 4 Fluctuate ranges of yawing moment and side force

		Max	Min	Fluctuate range
Mz	Down cut	35Nm	-24Nm	59Nm
	Coaxial counter rotating	20Nm	-25Nm	45Nm
Fx	Down cut	150N	-150N	300Nm
	Coaxial counter rotating	100N	-160N	260Nm

実機評価結果を Table 5 に示す。(土壌硬度は山中式土壌硬度計による)

正転の場合、土壌硬度が高くなると左右の土壌硬度のばらつきによって耕うん反力の前進成分に左右差が生じ、直進性が悪くなることが結果に現れた。但し耕うん反力グラフの波形から推察されるような高い周波数の振動については、体感できる差は無かった。

Table 5 Test result of yawing stability

Soil hardness	12	17	22
Down cut	○	△	×
Coaxial counter rotating	○	○	○

3.2. 対地車速

対地車速の増減は $\overline{F_y}$ が影響すると考えられる。各々の $\overline{F_y}$ を Table 6 に示す。正転は増速、逆転は減速すると予想できる。

実機評価結果を Fig. 13 に示す。

Table 6 Forward element of tilling reaction (average)

	$\overline{F_y}$
Down cut	120N
Coaxial counter rotating	-65N

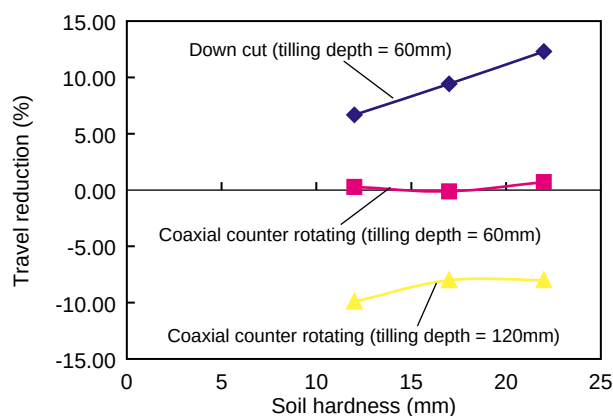


Fig. 13 Travel reduction versus soil hardness

正転は増速、正逆は減速という、計算で予測した通りの結果となった。原因は逆転つめの後ろ向き耕うん反力が正転つめの前向き耕うん反力に比べて高いため、正逆比率は正転の方が大きいにもかかわらず前後方向では逆転つめの反力が勝るためである。土壌硬度が高いほど耕うん反力が高くなるため車速の増減率が高くなる傾向が現れている。

3.3. 耕うん深さ

推定値は Table 7 の通り(土壌硬度 20 相当)。

実機評価結果と推定値との対比を Fig. 14 に示す。

土壌硬度 20 で比較すると、正逆は正転の約 2 倍の耕うん深さを得られた。また、土壌硬度が高くなるほど正転との差が大きくなる傾向がみられた。

正逆の場合はほぼ推定値に近い深さが得られ、正転の場合推定値の約 1.5 倍の深さが得られた。正転の場合の推定値との乖離については今後の課題である。

Table 7 Estimated tilling depth

	Tilling Depth
Down cut	56.7mm
Coaxial counter rotating	142mm

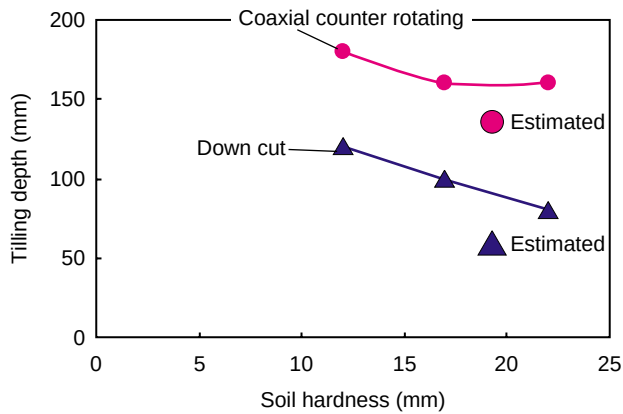


Fig. 14 Tilling depth versus soil hardness

3.4. ローリング

ローリングはMyの変動幅が影響すると考えられる。各々のMyの変動幅をTable 8に示す。

実機評価結果をTable 9に示す。

正転と正逆でほとんど差が感じられなかった。正転の場合、土壌硬度が高くなると耕うん深さが浅くなるので耕うん反力の絶対値が小さくなり、ローリングモーメントの変動幅も小さくなるため差がなくなると考えられる。

Table 8 Fluctuate ranges of rolling moment

	My		
	Max	Min	Fluctuate range
Down cut	20	-25	45
Coaxial counter rotating	12	-16	28

Table 9 Test result of rolling stability

Soil hardness	12	17	22
Down cut	○	△	△
Coaxial counter rotating	○	△	△

4. まとめ

フロントロータリ方式の耕うん機において正転ロータリと同軸同時正逆転ロータリを比較し、以下の結果を得た。

- (1) 一般的な未耕地相当の土壌硬度 20 前後の硬い土を耕す時、直進安定性に関して同軸同時正逆転ロータリは正転ロータリに対して大幅な向上がみられた。
原因は左右の土壌硬度のばらつきによって耕うん反力の前進成分に左右差が生じることである。
- (2) 正転ロータリは耕うん反力により対地車速が増速し、同軸同時正逆転ロータリは逆に減速する結果となった。

また、土壌硬度が高いほど車速の増減率が高くなる傾向がみられた。

- (3) 土壌硬度 20 前後の土を耕す時、同軸同時正逆転ロータリは正転ロータリの約2倍の耕うん深さを得られた。
また、土壌硬度が高くなるほど正転ロータリとの差が大きくなる傾向がみられた。
- (4) ローリングに関しては正転ロータリと同軸同時正逆転ロータリの差が体感できなかった。



Fig. 15 External view of FF300

Table 10 Major specifications of FF300

Items	Specifications
Engine model name	GXV57
Engine type	Air cooled 4-stroke OHV single cylinder
Engine displacement (cm ³)	57
Maximum power (kW)	1.8
Rated power (kW/rpm)	1.0/4 000
Maximum torque (Nm/rpm)	3.0/4 000
Compression ratio	8.0
Minimum specific fuel consumption (g/kWh)	354
Fuel tank capacity (cm ³)	1 100
Overall length (mm)	1 465
Overall width (mm)	465
Overall height (mm)	1 010
Dry weight (kg)	50
Tine speed (rpm)	131
Tilling width (mm)	450
Tine diameter (mm)	φ 280
Starting system	Recoil starter
Main clutch type	Shoe clutch
Transmission speeds	3Forward, 1Reverse

9. おわりに

本研究成果をもとに、フロント同軸同時正逆転ロータリ耕うん機 FF300 を開発し 2003 年 3 月から国内販売を開始した。軽量、小型で楽に旋回でき、深くしかも真っ直ぐ安定して耕せるとお客様より高い評価を頂いている。FF300 の外観を Fig. 15 に、主要諸元を Table 10 に示す。

本研究にあたり、協力を頂いた開発チーム、社内外の関係者の方々に紙面を借りて厚く御礼を申しあげる。

参考文献

- (1) 國領喬ほか：同軸同時正・逆転ロータリ耕うん方式の開発，HONDA R&D Technical Review, vol.6, p.110-118 (1994)

■ 著 者 ■



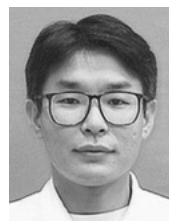
太田 能 司



大 窪 晋



飯 野 啓 司



永 岡 政 敏



永 野 敬 二



片 桐 信 近