



馬達

21 世紀的動力來源，馬達進化論



井出萬盛



不無聊的
理工系

全彩
圖解

電流與磁鐵產生的高轉矩特性
線性、超音波馬達等嶄新技術也陸續登場！

馬達



21 世紀的動力來源
馬達進化論



瑞昇文化

TITLE

馬達

STAFF

出版 瑞昇文化事業股份有限公司
 作者 井出萬盛
 封面插畫 野辺ハヤト
 譯者 林麗秀

總編輯 郭湘齡
 責任編輯 王瓊苹
 文字編輯 林修敏 黃雅琳
 美術編輯 李宜靜
 排版 執筆者設計工作室
 製版 昇昇興業股份有限公司
 印刷 桂林彩色印刷股份有限公司
 法律顧問 經兆國際法律事務所 黃沛聲律師

戶名 瑞昇文化事業股份有限公司
 劃撥帳號 19598343
 地址 新北市中和區景平路464巷2弄1-4號
 電話 (02)2945-3191
 傳真 (02)2945-3190
 網址 www.rising-books.com.tw
 Mail resing@ms34.hinet.net

初版日期 2012年03月
 定價 300元

國家圖書館出版品預行編目資料

馬達／井出萬盛作；林麗秀譯。
 -- 初版。-- 新北市：瑞昇文化，2012.02
 208面；14.8x21公分
 ISBN 978-986-6185-90-8 (平裝)
 1. 電動機
 448.22 101002241

國內著作權保障，請勿翻印／如有破損或裝訂錯誤請寄回更換

MOTOR NO KIHON

Copyright © 2010 KAZUMORI IDE

Originally published in Japan in 2010 by SOFTBANK Creative Corp.

Chinese translation rights in complex characters arranged with
 SOFTBANK Creative Corp. through BANYOON INC.



馬達 目錄

前言	3
登場角色介紹	8

第 1 章 深入了解馬達的用法

9

001	電風扇或抽風機上使用可依據負載大小調整旋轉速度的感應馬達	10
002	洗衣機採用的感應馬達也進化為直驅式無刷馬達	12
003	冷氣機、電冰箱為節約能源而廣泛採用無刷馬達	14
004	電動工具上安裝可產生巨大啟動力的交流整流子馬達	16
005	地下鐵或路面電車採用特性最理想的串激式直流馬達	18
006	新幹線或特快電車採用具 VVVF 變頻器控制功能的三相感應馬達	20
007	電動車採用三相交流感應馬達或 PM 同步馬達	22
008	新幹線都是由大型馬達控制系統控管列車之運行	24
009	機器人因伺服馬達與控制技術之提昇而跨入醫療照護領域	26
010	電梯、電扶梯因 VVVF 控制技術與 PM 同步馬達而進化	28
011	登山纜車或空中纜車採用變頻器控制的三相感應馬達	30
012	遊樂區裡最吸引人的大型遊樂設施採用油壓馬達或線性馬達	32
013	電腦與周邊設備為了達到靜音效果而使用無刷馬達	34
014	其他家電用品上使用的馬達	36

COLUMN

計量符號與單位符號

38

第 2 章 馬達的基礎知識與應用

39

015	何謂馬達？	40
016	電能為公認的潔淨能源	42
017	目前的舒適生活完全靠交流、直流兩種馬達維持	44
018	馬達可依據電能、驅動原理、構造等項目分類	46
019	小型直流馬達的基本構造	48
020	何謂「轉矩」？	50
021	專用於表示馬達的轉數、電壓、電流用法的「額定」值	52

第3章 電流與磁場的關係 57

023	永久磁鐵一分為二後又出現N極與S極	58
024	以磁力線表示磁場強度	60
025	鈹磁鐵是磁性最強勁的磁鐵	62
026	電池輸出的電流妙用無窮	64
027	電流、磁場與右手螺旋定則息息相關	66
028	取下電池後電磁鐵的磁性依然存在	68
029	磁場出現變化時會有不可思議的電流流入線圈	70
030	電磁感應因法拉第與楞次之發現而真相大白	72
031	線圈內部形成的感應電動勢成了發電機原理	74
032	觀察磁場中影響電流的作用力	76
033	佛萊明定則分為「右手定律」與「左手定律」.....	78
034	磁場中影響鐵、磁鐵的作用力與馬達旋轉原理息息相關	80

第4章 直流馬達的結構與功能 83

035	永久磁鐵與電磁鐵的磁場產生方式	84
036	使用永久磁鐵的小型直流馬達的基本構造	86
037	小型直流馬達的旋轉結構	88
038	小型直流馬達之性能	90
039	使用電磁鐵的大型直流馬達之基本構造	92
040	整流子與電樞線圈接法	94
041	馬達旋轉時也會發電	96
042	線圈發熱與等效電路之原理	98
043	電樞電流產生的場磁束偏斜損傷刷子或整流子	100
044	由馬達形狀就知道轉矩大小	102
045	直流馬達性能因電磁鐵製造方法而大不相同	104
046	並聯接續電磁鐵與電樞線圈的直流馬達性能	106
047	大型直流馬達邊旋轉、邊抑制啟動時的大電流	108

第 5 章 交流馬達的結構與功能

113

049	一般家用電源為可改變電流方向的「交流電」.....	114
050	交流電路使用的電力與未使用而復歸電源的電力	116
051	實際使用的電力比例稱為「功率因數」.....	118
052	渦電流使用不當可能衍生弊端	120
053	促使交流馬達旋轉的三相交流電與該特性	122
054	三相交流電源的連接方式可分為△連接與Y連接	124
055	三相交流電可產生旋轉磁場	126
056	渦電流與阿拉哥圓盤	128
057	靠三相交流電旋轉的感應馬達原理與基本構造	130
058	三相感應馬達可依轉子繞線結構而分成兩大類	132
059	旋轉速度因定子線圈繞法而不同	134
060	感應馬達的旋轉速度與「滑差」.....	136
061	三相感應馬達的啟動轉矩遠比直流馬達小	138
062	三相感應馬達可分為「鼠籠式」與「繞線式」兩大類	140
063	利用電壓或頻率控制三相感應馬達旋轉機制	142
064	一般家用單相感應馬達的結構與特徵	144
065	單相感應馬達的啟動方法	146
066	靠交流電旋轉的「同步馬達」因磁鐵的吸引力而旋轉	148
067	同步馬達為無法自力旋轉的馬達	150
068	同步馬達為旋轉特性或結構特徵非常豐富多元的馬達	152
069	同步馬達啟動時需要幫手	154
070	安裝整流子的交流馬達結構與特徵	156

第 6 章 特殊馬達的結構與功能

159

071	齒輪的功能與調整旋轉	160
072	標準齒輪、行星齒輪等各式各樣的齒輪	162
073	旋轉編碼器具備轉數或旋轉方向檢測功能	164

074	淬鍊出超高機能的馬達	166
075	不應用電磁作用的「超音波馬達」之旋轉原理與特徵	168
076	由旋轉磁場轉為移動磁場後線性馬達順利誕生	170
077	靠運用移動磁場的交流電運作的線性馬達	172
078	可動部位各不相同的各種線性直流馬達	174
079	以開關切換電流方向後移動的線性直流馬達	176
080	電阻可下降至零，被譽為夢幻材料的「超傳導材料」.....	178
081	超傳導線性馬達車靠兩種線圈行駛	180
082	以半導體取代整流子與電刷後成功研發「無刷馬達」.....	182
083	以半導體切換磁極吸引作用後成功研發「步進馬達」.....	184
084	步進馬達的激磁方式	186

COLUMN	地下鐵真有趣	188
--------	--------------	-----

第 7 章	馬達與半導體控制技術	189
-------	------------------	-----

085	隨心所欲地驅動馬達的控制技術	190
086	常用於控制馬達的感測器	192
087	被譽為魔術開關，廣為大容量開關系統採用的矽控整流器 (SCR).....	194
088	最具代表性的馬達專用半導體電力控制電路	196
089	以半導體控制馬達即可開發嶄新類型的馬達	198
090	控制性能就是「伺服馬達」的最重要部位	200

COLUMN	軸承為日本人的拿手絕活	202
--------	-------------------	-----

參考文獻	203
索引	204

馬達



21 世紀的動力來源
馬達進化論



瑞昇文化



作者介紹

井出萬盛

1951年生於日本長野縣，目前為湘南工科大学附屬
高等學校教師、大學部兼任教師，電氣學會、日本
機器人學會的正式會員。著有『全方向へ思いのまま
に ボールで動くロボットの製作（製作由球體驅動的
全方位移動機器人）』、『録音再生ICを使った お
しゃべりロボットの製作（利用録音播放IC研發會說
話的機器人）』（POWER社）、『図解入門 よくわ
かる最新モータ技術の基本とメカニズム（圖解入門
淺顯易懂的馬達新技術基本概念與系統結構）』（秀
和系統）。興趣為欣賞安地斯音樂（民謠）、排笛演
奏及溪釣雨鱒。

前言

近二十年來資訊科技發展速度驚人，由於網際網路系統建置完成，轉瞬間就能連結到世界各地。整個世界因網路而連結在一起，意義至為重大。這個時代的重大改變可說完全是拜「科學技術的力量」提昇之賜。其次，我也很慶幸自己能隨著科技發展腳步走過這個時代。

馬達歷史相當悠久，馬達是結構相當完整的機械，懷著這種想法的人比比皆是。然而，馬達周邊環境也出現了重大變化，先是強磁性永久磁鐵的成功開發，且順利地運用在馬達上，接著是隨著微電腦問世及半導體控制技術之提昇，嶄新類型的馬達陸續誕生。

目前，社會上最廣泛採用的馬達還是在機械系統中運著作，馬達已可改變旋轉速度或方向、慢慢停止或加上煞車以迅速停止運轉，而且讓人感覺不到它的存在，默默地滿足著我們的需求。如前所述地為我們打造最安全、舒適生活環境的就是被譽為無名英雄的馬達。馬達與人們的關係越來越密切，其重要性也與日俱增，包括馬達周邊技術在內，本書中將有深入淺出的解說。

「這東西操作起來怎麼這麼難呀！」，比爾蓋茲先生第一次接觸電腦時據說曾經這麼想過，當時一般人見到電腦都是驚嘆「這東西實在是太了不起了！」，天才果然與眾不同。一個人對事物的看法對其一生影響至鉅。面對非凡事物時，如何掌握該事物完全在於個人的「感受力」，感受力必須從小培養起，希望讀者們能及早奠定創造事物的敏銳感受力。

讀者們培養「感受力」時，本書若能助您一臂之力，本人將感到無比榮幸。

井出萬盛



馬達 目錄

前言	3
登場角色介紹	8

第 1 章 深入了解馬達的用法

9

001	電風扇或抽風機上使用可依據負載大小調整旋轉速度的感應馬達	10
002	洗衣機採用的感應馬達也進化為直驅式無刷馬達	12
003	冷氣機、電冰箱為節約能源而廣泛採用無刷馬達	14
004	電動工具上安裝可產生巨大啟動力的交流整流子馬達	16
005	地下鐵或路面電車採用特性最理想的串激式直流馬達	18
006	新幹線或特快電車採用具VVVF變頻器控制功能的三相感應馬達	20
007	電動車採用三相交流感應馬達或PM同步馬達	22
008	新幹線都是由大型馬達控制系統控管列車之運行	24
009	機器人因伺服馬達與控制技術之提昇而踏入醫療照護領域	26
010	電梯、電扶梯因VVVF控制技術與PM同步馬達而進化	28
011	登山纜車或空中纜車採用變頻器控制的三相感應馬達	30
012	遊樂區裡最吸引人的大型遊樂設施採用油壓馬達或線性馬達	32
013	電腦周邊設備為了達到靜音效果而使用無刷馬達	34
014	其他家電用品上使用的馬達	36

COLUMN

計量符號與單位符號

38

第 2 章 馬達的基礎知識與應用

39

015	何謂馬達？	40
016	電能為公認的潔淨能源	42
017	目前的舒適生活完全靠交流、直流兩種馬達維持	44
018	馬達可依據電能、驅動原理、構造等項目分類	46
019	小型直流馬達的基本構造	48
020	何謂「轉矩」？	50
021	專用於表示馬達的轉數、電壓、電流用法的「額定」值	52

第 3 章 電流與磁場的關係 57

023	永久磁鐵一分為二後又出現N極與S極	58
024	以磁力線表示磁場強度	60
025	釹磁鐵是磁性最強勁的磁鐵	62
026	電池輸出的電流妙用無窮	64
027	電流、磁場與右手螺旋定則息息相關	66
028	取下電池後電磁鐵的磁性依然存在	68
029	磁場出現變化時會有不可思議的電流入線圈	70
030	電磁感應因法拉第與楞次之發現而真相大白	72
031	線圈內部形成的感應電動勢成了發電機原理	74
032	觀察磁場中影響電流的作用力	76
033	佛萊明定則分為「右手定律」與「左手定律」.....	78
034	磁場中影響鐵、磁鐵的作用力與馬達旋轉原理息息相關	80

第 4 章 直流馬達的結構與功能 83

035	永久磁鐵與電磁鐵的磁場產生方式	84
036	使用永久磁鐵的小型直流馬達的基本構造	86
037	小型直流馬達的旋轉結構	88
038	小型直流馬達之性能	90
039	使用電磁鐵的大型直流馬達之基本構造	92
040	整流子與電樞線圈接法	94
041	馬達旋轉時也會發電	96
042	線圈發熱與等效電路之原理	98
043	電樞電流產生的場磁束偏移損傷刷子或整流子	100
044	由馬達形狀就知道轉矩大小	102
045	直流馬達性能因電磁鐵製造方法而大不相同	104
046	並聯接續電磁鐵與電樞線圈的直流馬達性能	106
047	大型直流馬達邊旋轉、邊抑制啟動時的大電流	108

第 5 章 交流馬達的結構與功能

113

049	一般家用電源為可改變電流方向的「交流電」.....	114
050	交流電路使用的電力與未使用而復歸電源的電力	116
051	實際使用的電力比例稱為「功率因數」.....	118
052	渦電流使用不當可能衍生弊端	120
053	促使交流馬達旋轉的三相交流電與該特性	122
054	三相交流電源的連接方式可分為△連接與Y連接	124
055	三相交流電可產生旋轉磁場	126
056	渦電流與阿拉哥圓盤	128
057	靠三相交流電旋轉的感應馬達原理與基本構造	130
058	三相感應馬達可依轉子繞線結構而分成兩大類	132
059	旋轉速度因定子線圈繞法而不同	134
060	感應馬達的旋轉速度與「滑差」.....	136
061	三相感應馬達的啟動轉矩遠比直流馬達小	138
062	三相感應馬達可分為「鼠籠式」與「繞線式」兩大類	140
063	利用電壓或頻率控制三相感應馬達旋轉機制	142
064	一般家用單相感應馬達的結構與特徵	144
065	單相感應馬達的啟動方法	146
066	靠交流電旋轉的「同步馬達」因磁鐵的吸引力而旋轉	148
067	同步馬達為無法自力旋轉的馬達	150
068	同步馬達為旋轉特性或結構特徵非常豐富多元的馬達	152
069	同步馬達啟動時需要幫手	154
070	安裝整流子的交流馬達結構與特徵	156

第 6 章 特殊馬達的結構與功能

159

071	齒輪的功能與調整旋轉	160
072	標準齒輪、行星齒輪等各式各樣的齒輪	162
073	旋轉編碼器具備轉數或旋轉方向檢測功能	164

074	淬鍊出超高機能的馬達	166
075	不應用電磁作用的「超音波馬達」之旋轉原理與特徵	168
076	由旋轉磁場轉為移動磁場後線性馬達順利誕生	170
077	靠運用移動磁場的交流電運作的線性馬達	172
078	可動部位各不相同的各種線性直流馬達	174
079	以開關切換電流方向後移動的線性直流馬達	176
080	電阻可下降至零，被譽為夢幻材料的「超傳導材料」.....	178
081	超傳導線性馬達車靠兩種線圈行駛	180
082	以半導體取代整流子與電刷後成功研發「無刷馬達」.....	182
083	以半導體切換磁極吸引作用後成功研發「步進馬達」.....	184
084	步進馬達的激磁方式	186

COLUMN	地下鐵真有趣	188
--------	--------	-----

第 7 章 馬達與半導體控制技術 189

085	隨心所欲地驅動馬達的控制技術	190
086	常用於控制馬達的感測器	192
087	被譽為魔術開關，廣為大容量開關系統採用的矽控整流器（SCR）.....	194
088	最具代表性的馬達專用半導體電力控制電路	196
089	以半導體控制馬達即可開發嶄新類型的馬達	198
090	控制性能就是「伺服馬達」的最重要部位	200

COLUMN	軸承為日本人的拿手絕活	202
--------	-------------	-----

參考文獻	203
索引	204

登場角色介紹

★ 解說基本原理的紫蛙平太



本書中的重要角色，喜歡製作東西，對任何事物都興趣盎然，立志創作出劃時代的產品。

★ 解說員



磁鐵哥哥

兩種顏色，無人不知無人不曉的磁鐵哥哥，希望利用永久磁鐵的強勁磁力，成功研發更小型、更高性能的馬達。



電氣姊姊

長相大不相同，事實上，她和磁鐵哥哥親如單卵雙生兄妹，希望自己能成為世上萬物的動力來源。

第

1

章

深入了解 馬達的用法

我們的生活中存在著許多馬達，
馬達是默默地為我們打造舒適生活環境的「無名英雄」。
冷氣機或洗衣機等家電用品內部結構中都組裝著馬達，
本單元中對於那些馬達的用法將有深入的剖析。
對於電梯或登山軌道纜車等設備上使用的馬達，
以及結構中安裝著馬達的機器設備也將做更深入的了解。



電風扇或抽風機上使用可依據 負載大小調整旋轉速度的感應馬達

現在，幾乎家家戶戶都利用冷氣機維持著舒適生活，不過，我家還是由電風扇陪著度過炎炎夏日。現在還靠電風扇？或許有人會感到很不可思議吧！事實上，只有靠輸送到家裡來的電流（交流）驅動的馬達才可能靜悄悄地運轉。接下來讓我們來了解一下電風扇或抽風機吧！

電風扇具備驅使扇葉轉動後往固定方向旋轉以送出涼風之功能。電風扇都是往固定的方向旋轉，因此，扇葉通常直接安裝在交流電驅動的馬達（單相感應馬達）上以構成直驅狀態。交流馬達不僅會依據負載大小調整旋轉速度，也無電刷等可能產生馬達運轉噪音的接觸部位，因此能夠以比較低的速度靜靜地旋轉，又因生產成本低而成為電風扇上最廣泛採用的馬達。

觀察電風扇內部結構即可看到電容量為數 μF （微法拉）的電容器，啟動感應馬達需要電容器，因此，可將電風扇想成是直接連接著電容器的「電容器馬達」。比較大型的是吊掛在天花板上的電風扇（吊扇），這種類型的電風扇也是將扇葉直接安裝在感應馬達上以構成直驅狀態。其次，桌上型小風扇上也會採用稱為「蔽極線圈式」的感應馬達。攜帶式超小型電風扇上則可看到局部使用有刷直流馬達或無刷馬達的情形，其他如以電池為動力來源，看起來很像玩具的電風扇上使用的馬達。

抽風機或送風機也相當廣泛安裝由交流電驅動的單相感應馬達，送風原理與電風扇大同小異，馬達帶動扇葉像螺旋槳似地旋轉或促使送風鼓輪轉動以擾動氣流。專為人們營造清涼感的送風機也很適合稱為電風扇吧！此外，抽風機或送風機以感應馬達為主流，精密儀器或電腦等機器設備上安裝，專用於冷卻的送風機大多採用無刷馬達。



- 感應馬達是交流馬達中最具代表性的機種
- 因低速、寂靜運轉而廣泛安裝在電風扇或抽風機上