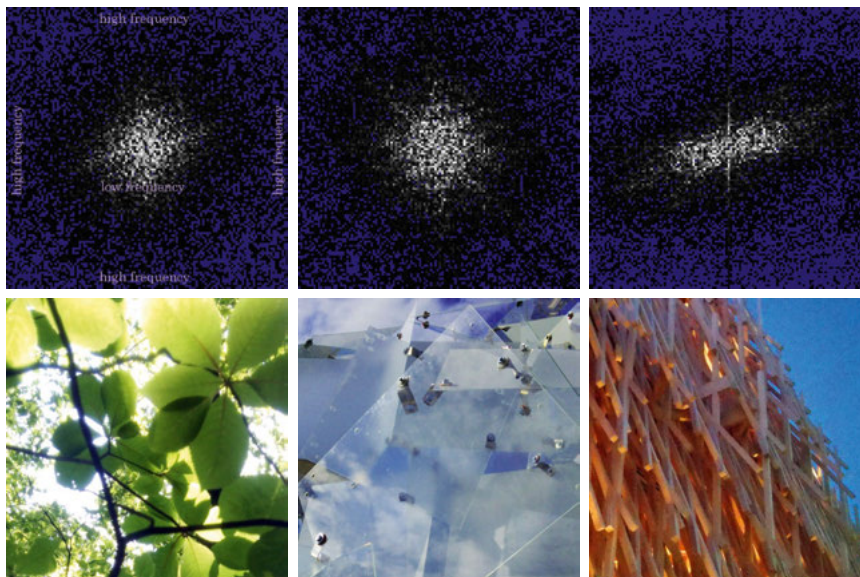


## DEVELOPMENT OF KIGUMI JOINERY TO CREATE 'NATURALNESS'

### ENTWICKLUNG DER KIGUMI-TECHNIK ZUR SCHAFFUNG VON 'NATÜRLICHKEIT'

➤ JUN SATO // German translation: Christa Wendl



◀ Fig. 1 | Abb. 1:  
2D Power Spectrum.  
Left: *Komorebi*.  
Center: Glass pavilion at  
Stanford University.  
Right: Timber aggregation in  
*Sunny Hills Aoyama*.

#### NATURALNESS

Using *Kigumi* techniques, it is nowadays possible to join timbers into structural designs creating natural effects such as *Komorebi*<sup>1</sup>.

The term *Kigumi* refers to traditional Japanese timber joinery crafted without the use of any metal connectors such as plates, nails or screws. The term *Komorebi* refers to sunlight shining through leaves in the woods (Fig. 1), representing a natural atmosphere.

When a structure is composed of slender timber elements, it becomes transparent/translucent and thereby acts as a visual light filter. *Komorebi* can be one of the environments such a filter creates. Other

#### NATÜRLICHKEIT

Mit der *Kigumi*-Technik ist es heute möglich, Hölzer zu Konstruktionen zu verbinden und natürliche Effekte wie *Komorebi*<sup>1</sup> zu erzeugen.

Der Begriff *Kigumi* bezieht sich auf die traditionelle japanische Holzverbindungstechnik, die ohne Verbindungselemente aus Metall, wie Platten, Nägel oder Schrauben, auskommt. Der Begriff *Komorebi* bezeichnet das Sonnenlicht, das durch die Blätter im Wald dringt (Abb. 1) und eine Atmosphäre von Natürlichkeit schafft.

Eine Konstruktion, die aus schlanken Holzelementen besteht, wird transparent / lichtdurchlässig und wirkt dadurch als visueller Lichtfilter. *Komorebi* kann eine der Umgebun-

atmospheres found in nature, such as light conditions created by an aurora, clouds, the ocean surface<sup>2</sup>, rivers<sup>3</sup>, blossoms<sup>4</sup>, or pampas<sup>5</sup>, each have their own unique embedded 'naturalness'. Achieving these different forms of 'naturalness' in our built environment could be an objective in structural design, beyond functional requirements.

It is now possible to design complex configurations composed of thousands of structural elements using digital structural analysis models.

'Naturalness' does not necessarily have to mimic natural objects. One of the ways to create naturalness is by using the 2D light spectrum analysis method to obtain quantifiable data. For example, a random configuration of square glass panels shows a spectrum (Fig. 1 center) similar to *Komorebi* found in nature (Fig. 1 left), and the timber aggregation of the *Sunny Hills Aoyama* building shows a spectrum (Fig. 1 right) that reproduces similar effects to those caused by fleecy clouds or pampas fields.

Structures like those used for *Sunny Hills Aoyama* are lightweight and ductile as well. They also perform more robustly in the event of natural disasters, for example.

Constructions using slender elements combined with a sufficient structural height (Fig. 2) can be porous, lightweight and ductile while still remaining stable. Finally, even if the structure were to collapse due to a storm, earthquake or other events, the people inside would still be able to survive. Lives can be saved while creating naturalness at the same time.

## CRAFTSMANSHIP

I once asked a carpenter which type of joinery he would like to execute to demonstrate his skill. Without hesitation, he said: "Kanawa".

In traditional architecture, *Kanawa* joints (Fig. 3a) are used to extend columns. They can be interlocked from either direction and fixed with a square dowel. Using these types of joints makes it possible for a damaged part of the column to be replaced as well. *Okkake Daisen* joinery (Fig. 3b) has a similar shape, but it can only be interlocked from one direction and is therefore mostly used to extend beams. Expert carpenters are proudly able to carve them with the

gen sein, die ein solcher Filter erzeugt. Andere Atmosphären, die in der Natur vorkommen, wie z. B. die Lichtverhältnisse, die durch Polarlicht, Wolken, die Meeresoberfläche<sup>2</sup>, Flüsse<sup>3</sup>, Blüten<sup>4</sup> oder die Pampa<sup>5</sup> entstehen, haben jeweils ihre eigene, einzigartige *Natürlichkeit*. Das Erreichen dieser verschiedenen Formen von Natürlichkeit in unserer gebauten Umwelt könnte ein Ziel der baulichen Gestaltung sein, das über die funktionalen Anforderungen hinausgeht.

Es ist nun möglich, komplexe Konfigurationen aus Tausenden von Strukturelementen mithilfe digitaler Analysemodelle zu entwerfen.

Bei 'Natürlichkeit' geht es nicht notwendigerweise um das Nachahmen natürlicher Objekte. Eine der Möglichkeiten, Natürlichkeit zu erzeugen, ist die Verwendung der 2D-Lichtspektrum-Analysemethode zum Erhalt quantifizierbarer Daten. Eine zufällige Konfiguration von quadratischen Glasscheiben zeigt beispielsweise ein Spektrum (Abb. 1 Mitte), das der in der Natur vorkommenden *Komorebi* ähnelt (Abb. 1 links), und die Holzaggregation des *Sunny Hills Aoyama* zeigt ein Spektrum (Abb. 1 rechts), das ähnliche Effekte produziert wie Schäfchenwolken oder Pampasfelder.

Strukturen, wie jene für *Sunny Hills Aoyama*, sind leicht und formbar zugleich. Zudem sind sie beispielsweise im Falle von Naturkatastrophen robuster als andere Werkstoffe.

Konstruktionen mit schlanken Elementen in Kombination mit einer ausreichenden Bauhöhe (Abb. 2) können porös, leicht und verformbar und dennoch stabil sein. Und selbst wenn das Gebäude infolge eines Sturms, eines Erdbebens oder anderer Ereignisse einstürzen sollte, könnten die Menschen im Inneren überleben. Wir schützen die Menschen und schaffen gleichzeitig Natürlichkeit.

## HANDWERKSKUNST

Ich fragte einmal einen Zimmermann, welche Art von Arbeit er gerne ausführen würde, um sein Können zu demonstrieren. Ohne zu zögern, antwortete er: „Kanawa.“

In der traditionellen Architektur werden *Kanawa*-Verbindungen (Abb. 3a) zur Verlängerung von Balken verwendet. Sie können in beiden Richtungen ineinandergesteckt und mit einem Vierkantdübel befestigt werden. Die Verwendung dieser Art von Verbindungselementen macht es auch möglich, ein beschädigtes Bauteil einer Säule zu ersetzen. Die *Okkake-Daisen*-Verbindung (Abb. 3b) hat eine ähnliche Form, kann aber nur aus einer Richtung verriegelt werden

highest precision. I was also able to learn from some of the projects mentioned below that carpenters in Japan are accustomed to repetitive tasks like refining and assembling hundreds of timbers, as they also do this when working on shrines or temples.

The behavior of joinery using solid wood is more complicated than that which uses homogenized composite timber products, but these days, with the help of technology, it has once again become possible to work with this natural material in structures without the need for standardized modifications.

In 1991, Masahiro Inayama was able to develop the "theory of mechanism in lateral sink under partial pressure", which was a breakthrough for understanding traditional *Kigumi* joinery in detail and developing new joints.

## FREE FORM

The 3D grid timber configuration used for the *Prostho Museum Research Center* (Fig. 4) has a free-form outline. The configuration in *Sunny Hills Aoyama* (Fig. 5) also has a free outline. Each outline was developed using form optimization based on structural performances. Due to these free-form outlines, especially in the case of *Sunny Hills Aoyama*, the fluctuating overall volume results in varying amounts of sunlight reaching the interior, creating the natural *Komorebi* effect.

I developed the joints used for the *Sunny Hills Aoyama* building based on a Japanese 2D grid system traditionally used for Japanese sliding doors called a *Jigoku*<sup>6</sup> grid or *Chidori*<sup>7</sup> grid (Fig. 6) ('Stygian grid' in English), which originated in the Hida Region.

In such a grid configuration, members look as if they have been interwoven. They can be organized into square or diamond-shaped grids. For the *Sunny Hills Aoyama* building, tilted diamond grid planes were connected with additional timber profiles to form a stable overall structure. For this and the following project, the complex joint details were roughly processed by CNC machines, then manually finished by carpenters. The slender 6 × 6 cm cedar and cypress members proved to be able to withstand shrinkage without breakage.

und wird daher meist zur Verlängerung von Balken eingesetzt. Geübte Zimmerleute sind in der Lage, dieses Verbindungselement mit höchster Präzision zu fertigen. Im Rahmen einiger der unten erwähnten Projekte habe ich auch erfahren, dass die Zimmerleute in Japan es gewöhnt sind, sich wiederholende Aufgaben wie das Verfeinern und Zusammensetzen von Hunderten von Holzelementen auszuführen, da sie dies auch bei Arbeiten an Schreinen oder Tempeln tun.

Das Bearbeiten von Massivholz ist schwieriger als das Arbeiten mit homogenisierten Verbundwerkstoffen aus Holz. Mithilfe der Technologie ist es jedoch wieder möglich geworden, Konstruktionen aus diesem natürlichen Material zu erstellen, ohne standardisierte Änderungen vornehmen zu müssen.

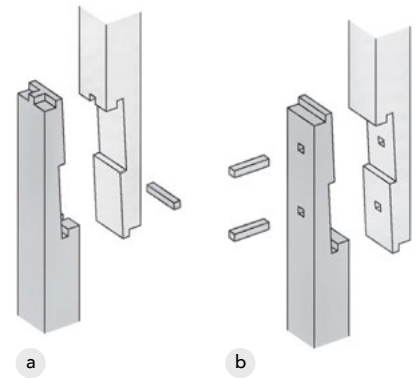
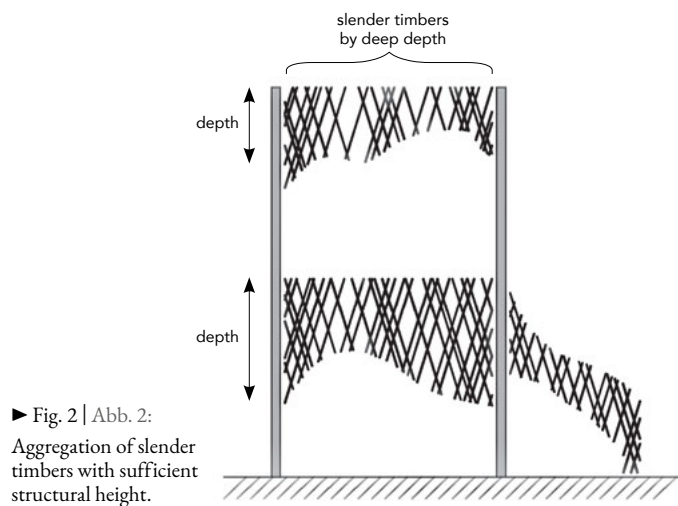
1991 entwickelte Masahiro Inayama die „Theorie zum Mechanismus des seitlichen Einsinkens unter Partialdruck“, die für das Verständnis der traditionellen *Kigumi*-Technik im Detail sowie für die Entwicklung neuer Verbindungen bahnbrechend war.

## FREIFORM

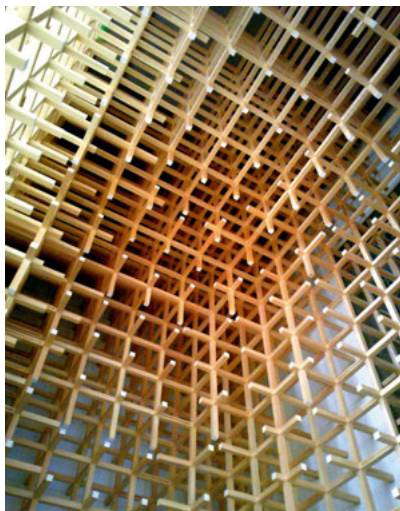
Der Umriss der 3D-Raster-Holzkonfiguration des *Prostho Museum Research Center* (Abb. 4) ist eine Freiform ebenso wie die Konfiguration des *Sunny Hills Aoyama* (Abb. 5). Die Umrisse wurden jeweils durch Formoptimierung auf der Grundlage der strukturellen Gegebenheiten entwickelt. Durch die Freiform-Umrisse, besonders im Fall von *Sunny Hills Aoyama*, führen die Schwankungen des Gesamtvolumens dazu, dass unterschiedlich viel Sonnenlicht in den Innenraum gelangt, was den natürlichen *Komorebi*-Effekt entstehen lässt.

Die bei *Sunny Hills Aoyama* verwendeten Verbindungen habe ich auf der Grundlage eines japanischen 2D-Gittersystems entwickelt, das traditionell für japanische Schiebetüren verwendet wird und *Jigoku*<sup>6</sup> oder *Chidori*-Gitter<sup>7</sup> (Abb. 6) genannt wird ('Stygian grid' auf Englisch) und seinen Ursprung in der Region Hida hat.

In einer solchen Gitterkonfiguration sehen die Stäbe aus, als wären sie miteinander verwoben. Sie können in quadratischen oder rautenförmigen Rastern angeordnet sein. Für das *Sunny Hills Aoyama* wurden geeignete Rautengitterebenen mit zusätzlichen Holzprofilen verbunden, um eine stabile Gesamtstruktur zu schaffen. Bei diesem und dem folgenden Projekt wurden die komplexen Verbindungsdetails von CNC-Maschinen grob bearbeitet und anschließend von Zimmerleuten manuell nachbearbeitet. Die schlanken 6 × 6 cm großen Zedern- und Zypressenhölzer erwiesen sich als schwindungsresistent, ohne zu brechen.



► Fig. 4 | Abb. 4:  
*Prostho Museum Research Center.*



►► Fig. 5 | Abb. 5:  
*Sunny Hills Aoyama.*



► Fig. 6 | Abb. 6:  
*Jigoku grid / Chidori grid.*



The 3D grid structure used for the *Prostho Museum Research Center* utilized *Shiho* cross joints, in which the members come together from four different directions at the joints.

In our studio, we continued our research on complex timber structures in the following conceptual proposal.

For the interior design of the *Alberni Residential Tower* (Fig. 7), we developed a timber configuration composed of vertical timbers arranged in an undulating footprint with tilted timbers attached to the vertical columns, creating a dynamic appearance that changes depending on the perspective of the viewer. For this configuration, we were able to develop an interlocking joint which allows members to be crossed at almost any angle.

In the near future, it is possible that CNC technology may be developed further, which would do away with the necessity for additional manual finishing, thereby broadening the palette of possible design solutions.

The workshop I led at the University of Applied Arts Vienna was an opportunity for students to experience this design methodology. The students developed a design for a spatial configuration of interlocking timber profiles as well as distinct joint details. In the workshop, students realized a sample of the construction with manually carved joints. After two months of further refinement and optimization in a digital model, a full-scale installation of CNC-cut members was assembled (Fig. 8).

In a further development of interlocking details, that same technique could also be applied towards realizing structures made from hardwood. Those structures could be composed of even more slender elements by maintaining the same structural performance, allowing the configurations to appear even more lightweight and transparent.

## PARAMETRIC DESIGN

The envelope of the *Treehouse Setagaya* (Fig. 9) is composed of interlocking wood panels that perform as a load-bearing shell and a skin at the same time.

The overall shape is similar to that of a mantis egg, featuring an asymmetrically curved geometry. At each panel's corner, a maximum of four pieces overlap, which allows for an assembly with only one type

Bei der 3D-Rasterstruktur für das *Prostho Museum Research Center* wurden *Shiho*-Kreuzverbindungen verwendet, bei denen die Stäbe aus vier verschiedenen Richtungen an den Verbindungsstellen zusammenkommen.

In unserem Studio setzten wir unsere Forschungen zu komplexen Holzstrukturen im Rahmen des folgenden konzeptionellen Entwurfs fort.

Für die Innenraumgestaltung des *Alberni Residential Tower* (Abb. 7) entwickelten wir eine Holzkonstruktion aus vertikalen, in einer wellenförmigen Grundfläche angeordnet Hölzern. An den vertikalen Säulen sind gekippte Hölzer angebracht, die ein dynamisches Erscheinungsbild erzeugen, das sich je nach Perspektive des Betrachters verändert.

Für diese Konfiguration konnten wir eine ineinandergreifende Verbindung entwickeln, die es ermöglicht, die Elemente in fast jedem Winkel zu kreuzen.

In naher Zukunft ist eine Weiterentwicklung der CNC-Technologie denkbar, die eine zusätzliche manuelle Nachbearbeitung überflüssig macht und damit die Palette der möglichen Designlösungen erweitert.

Der von mir geleitete Workshop an der Universität für angewandte Kunst Wien bot den Studierenden die Möglichkeit, diese Entwurfsmethode in der Praxis zu erleben. Die Studierenden entwickelten einen Entwurf für eine räumliche Konfiguration ineinandergreifender Holzprofile sowie ausgeprägter Verbindungsdetails. Sie realisierten im Workshop ein Modell der Konstruktion mit handgeschnitzten Verbindungselementen. Nach zwei Monaten der weiteren Verfeinerung und Optimierung in einem digitalen Modell wurde eine maßstabgetreue Installation aus CNC-geschnittenen Elementen montiert (Abb. 8).

In einer Weiterentwicklung der ineinandergreifenden Details konnte die gleiche Technik auch zur Realisierung von Strukturen aus Hartholz angewendet werden. Diese Strukturen ließen sich bei gleicher baulicher Leistung aus noch schlankeren Elementen zusammensetzen, sodass die Konfigurationen noch leichter und transparenter erscheinen.

## PARAMETRISCHES DESIGN

Die Hülle des *Treehouse Setagaya* (Abb. 9) besteht aus ineinandergreifenden Holzpaneelen, die gleichzeitig als tragendes Gehäuse und als Hülle fungieren.

Die Form mit der asymmetrisch gekrümmten Geometrie ähnelt dem Ei einer Gottesanbeterin. An den Ecken eines jeden Panels überlappen sich maximal vier Teile, was eine Montage mit nur einer Art von Verbindungselement ermöglicht. Aufgrund der unregelmäßigen Krümmung ist jedoch jedes



▲▲► Fig. 7 | Abb. 7:  
Model of interlocking joints used for *Alberni Residential Tower*.



► Fig. 8 | Abb. 8:  
The *IS-1* installation in  
Stübing, Austria, 2019.

of joint. However, due to the irregular curvature, each one of the 388 members is different. To be able to cope with this complexity, the overall form, as well as the geometry of each panel, was generated as a digital parametric model. Before the full-scale realization, the design was tested in the form of a 3D-printed model (Fig. 9).

In the final materialization, the connection details are a combination of mortise and tenon joints and trapezoid grooves, which are called 'ant head joints' in Japanese. These can be fabricated with high precision using a 5-axis CNC machine, but the preparation and machining process takes a lot of time. For this project, we instead chose to cut simplified orthogonal grooves first, using a 3-axis CNC machine, before having carpenters carve the trapezoid details manually.

Throughout this project, I learned that there could be a way to implement the carpenters' skills within the development of digital fabrication processes. Even though building components might be fabricated by fully automatized, computer-controlled processes, close collaborations with experienced carpenters could decisively contribute to the development of effective and novel solutions for fabrication that address the specific challenges of a project. Carpenters will not be replaced by machines, but instead could become integral members of the whole design-to-fabrication process. Such collaborative workflows could offer the flexibility to address conditions on an individual basis (bypassing complicated universal solutions), allowing for the production of diverse and complex architectural materializations of 'naturalness'.

der 388 Teile anders. Um diese Komplexität bewältigen zu können, wurden sowohl die Gesamtform als auch die Geometrie jedes einzelnen Panels als digitales parametrisches Modell generiert. Vor der maßstabsgetreuen Umsetzung wurde das Design in Form eines 3D-Druckmodells getestet (Abb. 9).

In der endgültigen Umsetzung bilden die Verbindungselemente eine Kombination aus Zapfenverbindungen und trapezförmigen Nuten, die auf Japanisch 'Ameisenkopferverbindungen' genannt werden. Diese können mit einer 5-Achsen-CNC-Maschine mit hoher Präzision hergestellt werden, wobei aber die Vorbereitung und der Bearbeitungsprozess sehr zeitaufwendig sind. Für dieses Projekt haben wir uns daher entschieden, zuerst vereinfachte orthogonale Nuten mit einer 3-Achsen-CNC-Maschine zu fräsen, bevor die Zimmerleute die trapezförmigen Details manuell fertigen konnten.

Im Zuge dieses Projekts bin ich zu dem Schluss gelangt, dass es einen Weg geben könnte, die Fähigkeiten der Zimmerleute in die Entwicklung digitaler Fertigungsprozesse zu integrieren. Auch wenn Bauelemente vollautomatisiert und computergesteuert hergestellt werden können, könnte eine enge Zusammenarbeit mit erfahrenen Handwerkern entscheidend zur Entwicklung effizienter und neuartiger Lösungen für die Fertigung beitragen, die den spezifischen Herausforderungen eines Projekts gerecht werden. Die Handwerker werden nicht durch Maschinen ersetzt, sondern könnten zu einem wesentlichen Bestandteil des gesamten Design-to-Fabrication-Prozesses werden. Kollaborative Arbeitsabläufe dieser Art könnten die Flexibilität bieten, auf individuelle Bedingungen einzugehen (unter Umgehung komplizierter Universallösungen) und die Produktion vielfältiger und komplexer architektonischer Manifestationen von 'Natürlichkeit' zu ermöglichen.

1 <sup>en</sup> There are hundreds of untranslatable words in the Japanese language, especially in regard to an appreciation of nature and finding beauty in simplicity. These do not have an English counterpart and most of the time can only be paraphrased.

<sup>de</sup> In der japanischen Sprache gibt es eine Vielzahl unübersetzbarer Begriffen, vor allem in Bezug auf die Wertschätzung der Natur und die Wahrnehmung von Schönheit in der Einfachheit. Diese haben kein englisches bzw. deutsches Pendant und können meist nur umschrieben werden.

2 *sazanami*: <sup>en</sup> light diffractions and sounds caused by ripples or wavelets on water,

<sup>de</sup> Lichteffekte und Geräusche, die durch kleine Wellen und das Kräuseln von Wasser entstehen.

3 *kawaakari*: <sup>en</sup> light reflecting off a river in darkness,

<sup>de</sup> Licht, das von einem Fluss in der Dunkelheit reflektiert wird.

4 *banafubuki*: <sup>en</sup> "flower petal storm" (usually used to describe how cherry blossom petals float down en masse, like snowflakes in a blizzard),

<sup>de</sup> „Sturm von Blütenblättern“ (üblicherweise wird damit das Herabschweben der Blütenblätter der Kirschblüte in großer Zahl, ähnlich den Schneeflocken in einem Schneesturm, beschrieben).

5 *kobo: ko*: <sup>en</sup> ray, light, <sup>de</sup> Licht | *bo*: <sup>en</sup> pampas grass, <sup>de</sup> Pampasgras.

6 *Jigoku*: <sup>en</sup> hellish, which indicates difficulty in releasing, <sup>de</sup> höllisch, was auf Schwierigkeiten beim Lösen der Verbindung hinweist.

7 *Chidori*: <sup>en</sup> alternate up/down or right/left, <sup>de</sup> alternierend auf/ab oder rechts/links.





◀◀▼ Fig. 9 | Abb. 9:  
*Treehouse Setagaya:*  
 Model and actual construction.

